

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA
MARCOS FREITAS DE MORAES

**DESENVOLVIMENTO DE UM LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS:
LDM**

CURITIBA
DEZEMBRO 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MÉTODOS NUMÉRICOS EM ENGENHARIA
MARCOS FREITAS DE MORAES

**DESENVOLVIMENTO DE UM LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS:
LDM**

Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutor em Ciências - Programação Matemática, pelo Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, CESEC, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a Dr^a. Liliana Madalena Gramani

CURITIBA
DEZEMBRO 2013

M827d Moraes, Marcos Freitas de
Desenvolvimento de um leitor digital para molinetes hidrométricos : LDM
/ Marcos Freitas de Moraes. – Curitiba, 2013.
150f. : il. color. ; 30 cm.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Métodos Numéricos em
Engenharia, 2013.

Orientador: Líliliana Madalena Gramani.

1. Correntes fluviais - Medição. 2. Eletrônica digital. 3. Análise numérica.
I. Universidade Federal do Paraná. II. Gramani, Líliliana Madalena. III. Título.

CDD: 551.4830287

Dedicatória

Eduarda e Murilo,

Tudo isso é por vocês e para vocês. Amo-os muito.

Agradecimentos

- ◇ À Deus e N. Sra. Aparecida pela proteção em todos os momentos difíceis.
- ◇ À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Lillian Madalena Gramani, que acreditou no projeto.
- ◇ À Fundação Araucária, pelo apoio em forma de bolsa de estudos.
- ◇ À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia.
- ◇ À Prof^a. Dr^a. Nírcia R. Borges Teixeira, pela colaboração na revisão gramatical.
- ◇ À Prof^a. Ms. Raquel Cristina Carvalho, pela colaboração na revisão da língua estrangeira.
- ◇ Ao acadêmico em Engenharia Elétrica Marcelo Ribeiro Salmon, responsável técnico pelo projeto eletrônico.
- ◇ A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização e divulgação desse trabalho.

Sumário

Lista de Figuras	vii
Lista de Tabelas	ix
Lista de Siglas	xi
Lista de Símbolos	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 JUSTIFICATIVA	4
1.2 OBJETIVOS	5
1.2.1 Objetivo Geral	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO	6
1.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS NO TRABALHO	6
1.5 INOVAÇÕES PROPOSTAS NESTE TRABALHO	8
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 HIDROLOGIA E HIDROMETRIA	12
2.1.1 Hidrologia	12
2.1.2 Hidrologia no Brasil	14
2.1.3 Hidrometria	16
2.1.4 Grandezas Características	17
2.1.4.1 Bacia Hidrográfica	17
2.1.4.2 Vazão	17
2.1.4.3 Nível da Água ou Cota	17
2.1.5 Balanço Hídrico	17
2.1.6 Chuva-Vazão	19
2.2 MEDIÇÕES HIDRÓLOGICAS	20
2.2.1 Os Parâmetros da Hidrologia	20
2.2.2 As Medições Hidrológicas	21

2.3 MEDIDAS DE VAZÃO	23
2.3.1 Medição de Vazão pelo Método da Meia Seção	24
2.3.2 Determinando a Profundidade na Vertical	27
2.3.3 Molinete Hidrométrico ou Fluviométrico	29
2.3.4 Erros na Medição	31
2.3.5 Curva-Chave	32
2.4 Microcontroladores	34
2.5 MÉTODO DE APROXIMAÇÃO DOS MÍNIMOS QUADRADOS	36
2.5.1 Ajuste Polinomial	38
2.5.1.1 Ajuste por uma Reta	38
2.5.1.2 Ajuste Polinomial Geral	40
2.5.2 Ajuste Não Linear	40
2.5.2.1 Casos Redutíveis ao Linear	40
2.5.3 Coeficiente de Determinação	41
2.6 MÉTODO DE AJUSTE MULTIQUADRÁTICO	41
3 MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 A Estrutura do LDM	45
3.1.1 Montagem na Veroboard	45
3.1.2 Os Componentes Eletrônicos	47
3.1.2.1 Relação dos Componentes	47
3.1.3 Microcontrolador PIC18F452	48
3.1.4 Placa de Circuito Impresso - PCI	48
3.2 Montagem do LDM	50
3.3 Programação do Microcontrolador PIC18F452	52
3.4 Funcionamento do LDM	55
3.5 A <i>Home Page</i> do LDM	59
3.6 Etapas de Verificação do Funcionamento do LDM	60
3.7 Determinação da Vazão aplicando o Ajuste Multiquadrático e a Interpolação Spline Cúbica	64
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
4.1 Resultados da 1ª etapa - Rotações por Tempo	71
4.2 Resultados da 2ª etapa - Simulação no <i>PROTEUS</i>	71
4.3 Resultados da 3ª Etapa - Contador x LDM	74

4.4	Resultados da 4ª Etapa - Ensaios no arroio do Pocinho e rio Toledo	75
4.4.1	Resultados - Arroio do Pocinho - Guarapuava/Pr	76
4.4.2	Resultados - Rio Toledo	80
4.5	Resultados da 5ª Etapa - Ensaio no Canal da Piracema de Itaipu - Foz do Iguaçu	87
4.5.1	Comparação com os equipamentos ADCP modelos RS – M9 e S5	87
4.6	Resultados nas <i>Home Pages</i> do LDM	89
4.6.1	Primeira <i>Home Page</i> - Visualização dos Dados Coletados	89
4.6.2	Segunda <i>Home Page</i> - Cálculo da Regressão Linear e Curva-Chave	90
4.6.3	Cálculo da Relação Cota x Vazão pelo Método de Aproximação dos Mínimos Quadrados	94
4.6.4	Gráficos Gerados pela <i>Home Page</i>	96
5	CONCLUSÕES FINAIS	99
5.1	Conclusões sobre a parte eletrônica do LDM	99
5.2	Conclusões sobre a programação do microcontrolador do LDM	99
5.3	Conclusão sobre os Ensaios do LDM	100
5.4	Conclusões sobre a Interpolação Multiquadrática	100
5.5	Conclusões sobre as <i>Home Pages</i> do LDM	101
5.6	Conclusão Final sobre o LDM	101
	Referências	103
	Apêndice A - Demonstração da Equação $A = c_1 = a_0 = Y - B\bar{X}$	107
	Apêndice B - Spline Cúbica Interpolante	108
	Apêndice C - Fontes do Programa do Microcontrolador PIC18F452	110
	Anexo A - Fotos dos Ensaios do LDM	117
	Anexo B - Planilhas dos Ensaios do LDM	120
	Anexo C - Arquivo de Texto	133

Lista de Figuras

Figura 1	Diferente formas de Duty Cycle	6
Figura 2	Corte Transversal e o Duty Cycle do Molinete	7
Figura 3	Planilha utilizada na coleta dos dados	10
Figura 4	Hidrograma	22
Figura 5	Seção Transversal de um rio com seus pontos de observação. Adaptado de (WMO, 1994)	24
Figura 6	Área de uma seção transversal de um rio - Adaptado de (PINTO et al., 2000)	25
Figura 7	Descarga líquida do perfil transversal de um rio - Adaptado de (TUCCI, 2005)	26
Figura 8	Determinação da Profundidade	28
Figura 9	Deslocamento do equipamento devido ao alto fluxo do rio	28
Figura 10	Molinete Hidrométrico	29
Figura 11	Hélice modelo <i>JC</i> – 032/07	30
Figura 12	Haste graduada	31
Figura 13	Contador de Pulso	31
Figura 14	Protótipo do LDM numa Placa Veroboard - Visão Interna	46
Figura 15	Teste do LDM numa Placa Veroboard	46
Figura 16	Esquema do Circuito Eletrônico	49
Figura 17	Placa de Circuito Impresso	50
Figura 18	Placa de Circuito Impresso em 3D	50
Figura 19	Placa de Circuito Impresso do LDM	50
Figura 20	Checagem das Trilhas	51
Figura 21	Placa de Circuito Impresso do LDM	52
Figura 22	Placa de Circuito Impresso do LDM	52
Figura 23	Rotinas Iniciais do Programa	53
Figura 24	<i>Timers</i> e Biblioteca	53
Figura 25	Função <i>MAIN</i> do programa	54
Figura 26	<i>Timers</i> e Biblioteca	54
Figura 27	Funções do Cálculo da Vazão e Totalização	55
Figura 28	LDM em substituição ao contador de pulsos	56
Figura 29	Telas de abertura	56
Figura 30	Configuração do sensor e início da medição	56
Figura 31	Cota, tempo de medição e largura do rio	56
Figura 32	Recuo das margens e cálculo das verticais	57
Figura 33	Cálculo das profundidades na vertical	57

Figura 34	Cálculo da velocidade pontual e média	57
Figura 35	Finalizando a medição	57
Figura 36	Fluxograma Resumido do LDM	58
Figura 37	Tela de Abertura da <i>Home Page</i> do LDM	59
Figura 38	Tela da Janela dos Dados Coletados pelo LDM	60
Figura 39	O LDM simulado no Proteus®	61
Figura 40	Painel para o Controle da Frequência	61
Figura 41	Painel para Visualizar os Dados	62
Figura 42	Locais dos Ensaios com o LDM - Fonte: <i>Google Earth</i>	63
Figura 43	Perfil Transversal do rio Toledo	69
Figura 44	Tela de Abertura - Visualização dos Dados Coletados	89
Figura 45	Janela dos Dados - rio Toledo - 11/03/2013	90
Figura 46	Arquivo de texto com os Dados do Rio Paraibuna	91
Figura 47	Tela de Abertura - Cálculo da Curva-Chave	91
Figura 48	Tela de Apresentação dos Dados Cota-Descarga	92
Figura 49	Tela dos Cálculos (M.M.Q.) - 1ª Parte	93
Figura 50	Tela dos Cálculos (M.M.Q.) - 2ª Parte	94
Figura 51	Gráfico da Regressão Linear - Pelo <i>Gnuplot</i>	97
Figura 52	Gráfico da Regressão Exponencial - Pelo <i>Gnuplot</i>	97
Figura 53	Gráfico da Curva-Chave - Dados Calculados pelo M.M.Q. - $H_0 = 0,1$	98
Figura 54	Gráfico da Curva-Chave - Dados Calculados pelo M.M.Q. - $H_0 = 0,0$	98
Figura 55	Planilha Rio Toledo - 08/10/2012 - Contador de Pulsos	120
Figura 56	Planilha Rio Toledo - 08/10/2012 - LDM	121
Figura 57	Planilha Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - Contador de Pulsos	122
Figura 58	Planilha Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - LDM	123
Figura 59	Planilha Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - Contador de Pulsos	124
Figura 60	Planilha Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - LDM	125
Figura 61	Planilha Rio Toledo - 15/02/2013 - Contador de Pulsos	126
Figura 62	Planilha Rio Toledo - 15/02/2013 - LDM	127
Figura 63	Planilha Rio Toledo - 11/03/2013 - Contador de Pulsos	128
Figura 64	Planilha Rio Toledo - 11/03/2013 - LDM	129
Figura 65	Planilha Canal da Piracema - Itaipu - 23/04/2013 - LDM	130
Figura 66	Planilha Canal da Piracema - Itaipu - 10/11/2013 - RS-M9	131
Figura 67	Planilha Prof. Adir Otto Schmidt - 21/02/2013	132
Figura 68	Dados coletados pelo LDM	133

Lista de Tabelas

Tabela 1	Distância recomendada entre cada seção vertical	26
Tabela 2	Número de pontos e posição na medição vertical do rio	27
Tabela 3	Características do PIC18F452 - (MICROCHIP, 2006)	36
Tabela 4	Relação dos Componentes Eletrônicos	47
Tabela 5	Dados da Coleta - Rio Toledo - 29/04/2013	65
Tabela 6	Tabela Completa com as Velocidade Nulas	66
Tabela 7	Matriz V das Distâncias entre as Coordenadas (y, z)	66
Tabela 8	Tabela dos pesos α	67
Tabela 9	Tabela dos F_j	68
Tabela 10	Tabela dos F_j na superfície livre	68
Tabela 11	Tabela de Resultados	70
Tabela 12	Verificação da Frequência do LDM	71
Tabela 13	Comparação entre os dados de campo contra os do LDM no <i>PROTEUS</i>	72
Tabela 14	Estatística - rio Piquiri contra LDM	72
Tabela 15	Dados coletados no rio Toledo comparados com o LDM via (<i>PROTEUS</i>)	73
Tabela 16	Estatística - rio Toledo contra LDM	73
Tabela 17	Comparação Contador de Pulsos <i>versus</i> LDM	74
Tabela 18	Estatística - Contador de Pulsos <i>versus</i> LDM	75
Tabela 19	Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - Contador de Pulsos	76
Tabela 20	Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - LDM	77
Tabela 21	Estatística - Arroio do Pocinho - 10/11/2012	77
Tabela 22	Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - Contador de Pulsos	79
Tabela 23	Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - LDM	79
Tabela 24	Estatística - Arroio do Pocinho - 05/01/2013	79
Tabela 25	Medição da Vazão do rio Toledo - 08/10/2012 - Contador de Pulsos	81
Tabela 26	Medição da Vazão do rio Toledo - 08/10/2012 - LDM	82
Tabela 27	Estatística - rio Toledo - 08/10/2012	83
Tabela 28	Medição da Vazão do rio Toledo - 15/02/2013 - Contador de Pulsos	84
Tabela 29	Medição da Vazão do rio Toledo - 15/02/2013 - LDM	85
Tabela 30	Estatística - rio Toledo - 15/02/2013	86
Tabela 31	Comparação entre as Velocidades Médias - C.P. x LDM	86
Tabela 32	Estatística - rio Toledo - 11/03/2013	87
Tabela 33	Canal da Piracema - LDM <i>versus</i> $RS - M9$	87
Tabela 34	Estatística - Canal da Piracema - 23/04/2013	88

Tabela 35	Dados do Canal da Piracema - Itaipu, LDM e ADCP	88
Tabela 36	Valores Calculados para Determinação da Relação Cota x Vazão	95
Tabela 37	Vazão Observada e Vazão Calculada	96

Lista de Siglas

SD/MMC	Secure Digital/MultiMediaCard
HTML	HyperText Markup Language - Linguagem de Marcação de Hipertexto
PHP	Hypertext Preprocessor ou Personal Home Page
LDM	Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos
ADCP	Acoustic Doppler Current Profile
DNAEE	Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANA	Agência Nacional de Água
SMAP	Soil Moisture Accounting Procedure
FCM	Flow Current Meter
CPU	Central Process Unit
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
PIC	Peripheral Interface Controllers
SRAM	Station Random Access Memory
ICSP	In-Circuit Serial Programmimg
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
RAM	Random Access Memory

Lista de Símbolos

Q_{in}	Vazão de Entrada
Q_{out}	Vazão de Saída
Q	Vazão em $m^3.s^{-1}$
A	Área de uma Seção em m^2
V	Velocidade em $m.s^{-1}$
D	Largura do Rio
d_i	Semidistâncias entre as Verticais
S_i	Área de uma Semidistância
N	Número de Rotações por Segundo
R	Número de Rotações
t	Tempo
a	Constante da Equação do Molinete - Passo da Hélice
b	Constante da Equação do Molinete
r	Resíduo ou Erro
D^2	Coeficiente de Determinação
α_i	Pesos
H_0	Hipótese Nula
μ	Média dos Dados
H_1	Hipótese Alternativa
φ	Nível de Confiança
x	Variável Aleatória Estatística
\sim	Distribuição
\mathcal{N}	Distribuição Normal

σ^2	Variância
t	Teste- t
σ	Desvio Padrão

RESUMO

Nas pesquisas hidrológicas um dos equipamentos mais utilizados para determinar a velocidade do fluxo de rios é o molinete hidrométrico. O molinete hidrométrico funciona em conjunto com um contador de pulsos (ou contador de giros), o qual gira sua hélice de acordo com a velocidade no ponto da profundidade a ser medida. Os molinetes são instrumentos projetados para girar em velocidades diferentes de acordo com a velocidade da água. Estas medições tendem a uma margem de erro, pois o processo ainda é manual, propiciando falhas naturais nas amostras. Este trabalho possui três finalidades, sendo a primeira o desenvolvimento de um equipamento denominado Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos (LDM) para substituir o contador de pulsos e automatizar o processo da coleta dos dados referentes aos estudos hidrométricos, o LDM poderá ser acoplado a qualquer molinete hidrométrico que utilize o contador de pulso e tem por finalidade apoiar as instituições ambientais e as universidades no ensino, pesquisa e extensão na área hidrométrica; a segunda foi utilizar o método numérico de aproximação dos mínimos quadrados para determinar a curva-chave do rio através de um série de dados coletados num período de tempo; e a terceira finalidade foi modelar matematicamente uma das medições de vazão efetuadas no rio Toledo através de um ajuste multiquadrático em conjunto com a função interpoladora spline cúbica.

Palavras-chave: Leitor Digital. Molinete Hidrométrico. Mínimos Quadrados. Funções Multiquadráticas.

ABSTRACT

In hydrological researches of the equipment most used to determine the flow rate of rivers is flow current meter (FCM). The FCM works in conjunction with a pulse counter (or spins counter), which spins your propeller according to the velocity at the point of the depth to be measured. The FCM are instruments designed to rotate at different speeds depending on the speed of the water. These measurements tend to a margin of error, because the process is still manual, providing natural flaws in the samples. This paper has three purposes, the first being the development of equipment called (LDM) Digital Reader for FCM to replace the pulse counter and automate the process of data collection related to hydrometric studies, the LDM can be mounted on any FCM using the pulse counter and aims to support environmental institutions and universities in education, research and extension in the hydrometric area, the second was to use the number of squares approximation method to determine the minimum key-curve of the river through one set of data collected over a period time, and the third objective was to mathematically model of the flow measurements made in Toledo river by adjusting multiquadrático fit together with the cubic spline interpolating function.

Key-words: Digital Reader. Flow Current Meter. Minimum Squares. Multiquadratic Functions.

1 INTRODUÇÃO

A modelagem matemática é o processo que envolve a obtenção de um modelo. Este, sob certa ótica, pode ser considerado um processo artístico, visto que, para elaborar um modelo, além do conhecimento apurado de matemática, o modelador deve ter uma dose significativa de intuição e criatividade para interpretar o contexto, saber discernir qual conteúdo matemático melhor se adapta e também ter senso crítico para jogar com as variáveis envolvidas.

A modelagem matemática aplicada à hidrologia é uma realidade, pois com a preocupação com o nosso cenário ambiental muitos pesquisadores voltaram seus olhos para este assunto preocupados com o abastecimento de água, com a irrigação na agricultura, com a alimentação da população ribeirinha, com o controle das alterações no meio ambiente e vários outros pontos na qual a água tem suma importância. A preocupação com o desequilíbrio no meio ambiente tange também as enchentes e os alagamentos, provocados pelas alterações no clima ou que ocorrem naturalmente.

Miguez e Mascarenhas (1999) utilizaram-se da modelagem matemática para determinar o comportamento do movimento das cheias em áreas urbanas, tendo por base a concepção do modelo de células de escoamento aplicado ao pantanal matogrossense. Já Knapik et al. (2011) aplicaram a modelagem matemática para avaliar a qualidade da água utilizando-se de um *software* de domínio público e comentam que,

“A modelagem matemática consiste em representar, de maneira simplificada, diferentes sistemas e interações que ocorrem em um ambiente, através de hipóteses estabelecidas sobre a estrutura ou sobre o comportamento de um meio físico.”

Modelos hidrológicos contêm descrições matemáticas dos principais elementos do sistema de água, rios, lagos, águas subterrâneas, solo, neve. Oceanos e a atmosfera geralmente não são considerados. Eles são capazes de capturar o impacto dos recursos naturais (alterações climáticas, por exemplo) e/ou antropogênicas (retiradas de água, por exemplo) perturbações no fluxos e estados de elementos no ciclo da água: escoamento, evapotranspiração, umidade, recarga das águas subterrâneas e do solo.

Modelos hidrológicos podem ser aplicados em diferentes escalas, variando de local para

global, com o grau de complexidade, geralmente, dependente da escala para a qual foram concebidos. Alguns modelos cobrem qualidade da água ou outros aspectos ecológicos (LOTZE-CAMPEN, 2009).

A modelagem hidrológica é utilizada para atender as seguintes finalidades:

- ◇ Fornecer dados para a engenharia, através da extensão de séries de dados fluviométricos;
- ◇ Simular vazões em cursos de água de bacias submetidas a intervenções, pois suas características estão em processo de alteração;
- ◇ Prever vazões que subsidiem o gerenciamento de barragens e sistemas de alerta de cheias;
- ◇ Analisar o impacto de obras hidráulicas em cursos de água;
- ◇ Estudar, equacionar e reproduzir as diversas fases do ciclo hidrológico, objetivos inerentes às atividades de pesquisa.

Com isso, estudos baseados em modelagem hidrológica reforçam a necessidade dos pesquisadores estarem cada dia mais atualizados com as informações e determinarem resultados mais rápidos e precisos com relação aos estudos hidrológicos. Uma destas pesquisas se direciona para a determinação da curva-chave dos rios, analisando o processo de chuva-vazão.

Dooge (1981) afirma que o processo chuva-vazão de uma bacia é complexo e engloba não somente a influência hidrológica, mas também a influência da geologia, da biologia, e a ação do homem no uso do solo, o que demonstra as relações ambientais que compõem o meio. A água distribui-se de maneira irregular no tempo e no espaço e, em função desta distribuição, observa-se que a vazão média de uma bacia hidrográfica sofre variações sazonais ou multianuais significativas.

Tucci (2005) comenta que o conhecimento do processo chuva-vazão pode ser determinado através de modelos de simulação hidrológica, que são classificados conforme a necessidade e profundidade do estudo.

Piton (2007) comenta em seu trabalho que,

“Até o início dos anos 80, as medições eram realizadas exatamente iguais às de um século atrás. No entanto, a necessidade de atualização e a busca do resultado mais próximo à realidade, fizeram com que hidrólogos e hidrometristas buscassem utilizar novos métodos e meios para medir e equacionar as medições de vazões. Com isso, busca-se por melhorias na instrumentação e nas técnicas de medição, por um uso mais intensivo dos dispositivos de alta velocidade, os quais são computados por tecnologias emergentes que visam um grau elevado de precisão.”

O molinete hidrométrico ou fluviométrico, também conhecido por *FCM - Flow Current Meter*, é um dos equipamentos utilizados para a medição de vazão. O molinete contém uma hélice

que gira quando colocada no sentido do fluxo da água. O seu princípio de funcionamento consiste na rotação da hélice em torno do eixo que comuta um circuito elétrico, contando o número de voltas durante um intervalo de tempo fixo determinado, obtendo-se assim uma relação entre a velocidade do fluxo e a rotação da hélice. O equipamento responsável pela contagem dos pulsos elétricos é conhecido como contador de pulsos ou contador de giros, que simplesmente informa ao pesquisador o número de giros efetuado pela hélice no tempo determinado (CHEVALLIER, 2002).

Os molinetes são instrumentos projetados para girar em velocidades diferentes de acordo com a velocidade da água. A relação entre velocidade da água e velocidade de rotação do molinete é a equação do molinete. Esta equação é fornecida pelo fabricante do molinete, porém deve ser verificada periodicamente, porque pode ser alterada pelo desgaste das peças. Mede-se a velocidade do fluxo do rio em vários pontos tanto na horizontal quanto na vertical, isto é, são feitas leituras em diversas profundidades e ao longo do rio (PINTO et al., 2000). Estas medições apresentam uma margem alta de erro, pois o pesquisador efetua todas as anotações e os cálculos de divisão de verticais e profundidade manualmente. Outro problema é a demora exigida para coletar os dados, sendo que em cada ponto são feitas, no mínimo, duas coletas de informações.

Os objetivos da pesquisa foram: a) desenvolver um equipamento que, após “alimentado” com as informações da equação do molinete, da cota, do tempo de medição e da largura do rio, automaticamente determine a quantidade de verticais, a posição percentual do molinete na profundidade de cada vertical, a velocidade pontual e a velocidade média da vertical, área de influência e por final a vazão total. Todas estas informações são armazenadas num cartão de memória **SD/MMC** num arquivo de texto com o nome “MOLINETE.TXT”. Com isto, a confiabilidade dos dados vai permitir uma menor margem de erro e um grande ganho na rapidez da aquisição dos mesmos. b) Para organizar as informações e verificar os resultados do arquivo “MOLINETE.TXT”, faz parte do trabalho uma página da internet¹ (*home page*) escrita em **HTML/PHP**, na qual os dados são processados de forma a determinar a curva-chave, usando o método numérico de aproximação através dos mínimos quadrados. c) Modelar matematicamente uma das medições efetuadas no rio Toledo através de um ajuste multiquadrático em conjunto com a função interpoladora spline cúbica.

Nos textos, faz-se a referência ao equipamento como sendo **LDM** - Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos.

A estrutura deste trabalho está dividida em mais quatro capítulos, detalhados em seguida:

¹Grande rede mundial de computadores.

No **Capítulo 2** é feita uma abordagem da hidrologia, os dados hidrológicos básicos, a hidrologia básica, aquisição e processamento de dados, conceitos e definições baseadas na eletrônica e seus componentes, a linguagem *HTML/PHP* utilizada na formatação da página da internet, o método numérico de aproximação através dos mínimos quadrados, uma abordagem estatística em relação à margem de erro e o ajuste multiquadrático.

No **Capítulo 3** é relatado como adquirir corretamente e processar os dados coletados das medições de vazão dos rios de forma manual e como o LDM fará a coleta dos dados. Também será informada a estrutura da página da internet que utilizará o método numérico de aproximação dos mínimos quadrados.

No **Capítulo 4** serão apresentados os dados coletados na forma manual, utilizando o contador de pulsos e os coletados através do LDM. Serão comparados numericamente e graficamente além de determinar os valores da vazão total do rio. Com esta comparação, poderá definir se o LDM é confiável e realmente diminui a margem de erro. Neste capítulo, também, é elaborado o modelo matemático utilizando o ajuste multiquadrático.

O **Capítulo 5** conterá as conclusões sobre a eficiência e confiabilidade do LDM, da sua página (*home page*) e a análise dos métodos numéricos utilizados neste trabalho.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em 2008, participando como aluno especial da disciplina de Modelagem Hidrológica do curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE - campus Cascavel, tive a oportunidade de conhecer e estudar o processo de aquisição e processamento de dados para determinar a vazão de um rio. O rio em estudo era o Rio Piquiri próximo a localidade de Ubitatã no Oeste paranaense. Passamos o dia coletando os dados, efetuando cálculos e preenchendo formulários e tabelas. Após a coleta, voltamos à sala de aula para determinarmos a vazão total e a curva-chave do rio. Em todo o processo, desde a pesquisa até a determinação final da curva-chave, foram gastos 4 dias de pesquisas e estudos.

Este processo moroso de aquisição dos dados, foi a principal motivação que me levou a ideia do presente trabalho. Como poderia ajudar nas pesquisas hidrológicas agilizando seu processo e diminuindo a margem de erro nos cálculos? Atualmente, existem equipamentos como o (ADCP)², que, além do custo de investimento ser alto, são muito sensíveis para serem utilizados

²Chamado *Perfilador Doppler-Acústico de Corrente* uma tradução do inglês *Acoustic Doppler Current Profiler*, donde

como instrumentos de ensino no dia-a-dia.

Então, a necessidade de um novo equipamento para substituir o contador de pulsos e de agilizar o processo de coleta de informações são os fatores que determinou o desenvolvimento do projeto LDM.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um equipamento eletrônico chamado de **LDM** - Leitor Digital para Molinetes Hidrométrico, para substituir o contador de pulso nos molinetes hidrométricos e agilizar o processo de aquisição e monitoramento de dados da vazão dos rios e canais artificiais.

Em conjunto ao LDM, uma página na internet (*home page*) foi desenvolvida em linguagem *HTML/PHP* para manipular os dados adquiridos pelo LDM e com a possibilidade de abrir arquivos que contenham valores das “cotas x vazão” ao longo do tempo e através do método numérico de aproximação pelos mínimos quadrados determinar a curva-chave do rio em estudo.

A aplicação da modelagem matemática aos estudos hidrológicos, se dá através do método de ajuste multiquadrático juntamente com a interpolação spline cúbica, visando estimar a vazão de uma seção transversal do rio Toledo com os dados coletados pelo LDM.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- ◇ Criar um dispositivo eletrônico com capacidade de efetuar a leitura do fluxo de rio instantaneamente e gravar esses dados num cartão de memória *SD/MMC*.
- ◇ Testar a utilização do LDM em vários modelos de molinetes hidrométricos.
- ◇ Comparar a performance de LDM com equipamentos mais modernos, tipo ADCP/ADPs.
- ◇ Desenvolvimento de uma página *home page* que gerencie e manipule os dados coletados pelo LDM.
- ◇ Utilizar os métodos numéricos dos mínimos quadrados para determinar a curva-chave de uma série de dados “cota x vazão”.
- ◇ Modelar as velocidades em função das distâncias entre as verticais e a profundidade de cada vertical para estimar a vazão através de uma função multiquadrática.

vem a sigla ADCP (Fiziola, Guimaraes e Guyot (1999)). Este equipamento é uma ferramenta que utiliza o efeito “doppler” para medir a vazão dos rios através do somatório de sucessivos perfis de corrente obtidos em tempo real

1.3 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

Esse trabalho tem grande relevância no sentido da melhoria das pesquisas hidrológica para os pesquisadores que ainda utilizam molinetes hidrométricos com contadores de pulso e para toda rede hidrométrica.

Além disso, é importante para o ensino na disciplina de hidrologia das Universidades, auxiliando numa melhor compreensão da aquisição e processamento dos dados hidrológicos, evitando uma maior permanência dos acadêmicos no local de pesquisa.

Também, destaca-se o desenvolvimento de um equipamento com auxílio de “incubadoras”³ para que seu custo seja o baixo e acessível à todos, porque os equipamentos mais modernos possuem alto custo e manutenção custosa.

1.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS NO TRABALHO

A saída gerada pelo molinete hidrométrico é uma onda quadrada, com frequência constante e largura de pulso variável. Este conceito está diretamente relacionados com o período fixo e o ciclo ativo (*duty cycle*). A frequência de uma onda pode ser definida como a quantidade de vezes que ela se repete no tempo. E o período é cada pedaço dessa onda que irá se repetir. *Duty cycle* ou ciclo ativo 50% define a metade do período em nível lógico alto e a outra metade em nível lógico baixo (figura 1) (DENARDIN, 2012).

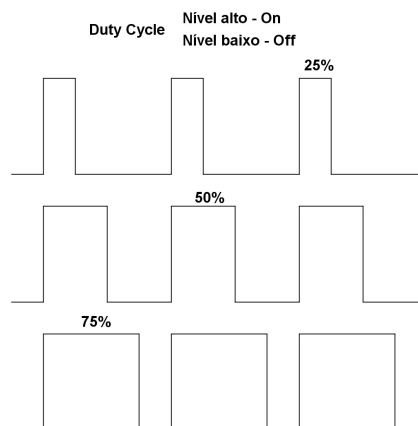


Figura 1: Diferente formas de Duty Cycle

³As incubadoras universitárias de empresas têm como objetivo abrigar empresas inovadoras frutos de projetos de pesquisa e desenvolvimento científico e tecnológico.

As rotinas pré-programadas do compilador *Proton Basic* (ver capítulo 3, p. 45) só interpretam um *duty cycle* de 50%.

O sinal que o sensor do molinete envia para o microcontrolador é um ciclo diferente de 50% (figuras 2(a), 2(b)), portanto não se conseguiu realizar a leitura da velocidade através das rotinas pré-programadas.

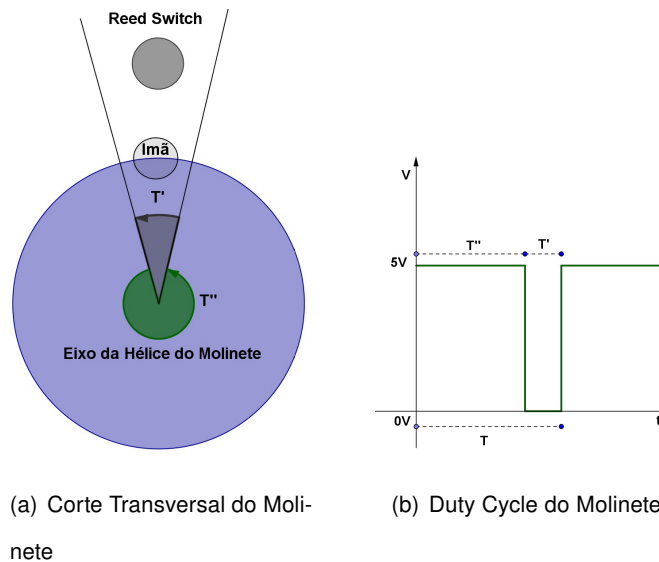


Figura 2: Corte Transversal e o Duty Cycle do Molinete

A alternativa foi contar os pulsos através do *TIMER1*⁴ do microcontrolador. O *TIMER0*⁵ foi programado para contar de 1 em 1 segundo indefinidamente enquanto que o *TIMER1* foi programado para contar os pulsos. Com isso, se conseguiu uma relação *pulso por tempo = rotações por segundo* determinando a frequência de giros da hélice.

Outro problema encontrado foi uma característica que os teclados possuem, que é um ruído no chaveamento ou micro-vibrações como se existisse um mau contato entre as lâminas da chave. Ao acionar uma tecla, o programa estava reconhecendo que ela estava sendo pressionada várias vezes, interferindo nas rotinas seguintes do programa. A solução foi inserir um tempo de 700 *ms* de espera no programa, determinados experimentalmente, no instante do acionamento de uma tecla.

⁴O timer 1 é um contador de 16 bits automático do sistema, desta forma, o valor do contador é armazenado em duas posições da memória: TMR1L (baixa) e TMR1H (alta) (SOUZA, 2007).

⁵O timer 0 é um contador de 8 bits que pode ser acessado diretamente da memória, tanto para leitura quanto para a escrita (SOUZA, 2007)

1.5 INOVAÇÕES PROPOSTAS NESTE TRABALHO

A grande inovação proposta neste trabalho é o equipamento de baixo custo e fácil manipulação, o qual é adaptável a qualquer tipo molinete hidrométrico que se utilize de contador de pulso. Além disso, ele, após solicitar a cota, o tempo de medição e a largura do rio, determinará automaticamente: quantas verticais serão necessárias na pesquisa, quantos pontos de aquisição em cada vertical, a velocidade pontual da posição vertical do molinete, a velocidade média da vertical, a velocidade na área de vazão e a vazão total do rio.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Os medidores mecânicos de corrente conhecidos como molinetes hidrométricos (FCM), têm sido utilizados para medição de vazão do rio há 100 anos e continuarão a ser eficientes para esta finalidade (JOHNSTONE, 2008).

Para (PITON, 2007),

“As medições de vazão através do método convencional, com a utilização do molinete hidrométrico, ainda é uma das formas de medir a fluência de um determinado rio. Mas, ao se considerar todas as suas incertezas e erros decorrentes deste processo, percebe-se que sua precisão se torna muito baixa, ao se comparar com as medições acústicas. Além destas incertezas, a segurança da equipe em campo, que está realizando o trabalho, também é primordial.”

As incertezas e erros das medições são decorrentes de vários fatores: pode ser que o cabo guia das divisões das verticais ou o cabo do guincho do molinete que, identifica a profundidade do rio, estejam graduados incorretamente; as anotações dos dados contenham rasuras ou não possuam uma boa grafia comprometendo a interpretação; erro nos cálculos das profundidades, das áreas, da equação da velocidade; posicionamento incorreto do molinete no ponto da profundidade na vertical, entre outros, são determinantes para que a precisão na pesquisa se comprometa.

A incerteza de medição é um parâmetro que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser atribuídos ao mensurando, pois está associado ao resultado de uma medição (SARETTA, 2013).

Para minimizar estas incertezas, o desenvolvimento de novos equipamentos de hidrometria e transmissão de dados estão surgindo no mercado, com preços cada vez mais acessíveis e com uma tecnologia bem mais avançada. Com isso, aumenta-se a confiabilidade das informações levantadas e diminui o tempo de permanência em campo.

Um grande avanço nas pesquisas hidrométricas foi o surgimento do perfilador acústico Doppler, conhecido como ADCP e ADPs, que substituiu o molinete hidrométrico na medição de vazão, agilizando as pesquisas e minimizando os erros no processo.

São várias as vantagens dos ADCPs/ADPs em relação aos processos tradicionais de medição de vazão. A medição de vazão com molinetes hidrométricos exige, dependendo das dimen-

sões do rio, no mínimo 20 medições individuais ao longo da seção, que, geralmente, compreendem várias horas de trabalho. Já as medições com perfiladores Doppler são significativamente mais rápidas, durando minutos ao invés de horas (RICARDO et al., 2008).

Piton (2007) comenta que, apesar das vantagens dos equipamentos ADCP em relação ao molinete, os hidrotécnicos entrevistados tinham a preferência na utilização do molinete hidrométrico, pois poucos tiveram contato com o equipamento ADCP e comentaram a necessidade de aprofundamento da utilização do “software” que acompanha o equipamento.

Enquanto o processo de aquisição dos dados pelo ADCP é eficiente e prático, o molinete hidrométrico ainda continua no seu processo moroso sendo os dados anotados em planilhas e depois as informações tratadas em escritório (figura 3).

Figura 3: Planilha utilizada na coleta dos dados

Simplificando uma comparação entre um equipamento ADCP e o molinete é, imaginar um conjunto infinito de molinetes colocados em uma vertical da seção de medição. A medida de velocidade que cada um dos molinetes efetuará será pontual. Com a tecnologia Doppler passa-se a ter mais medidas de velocidades na área de cada uma das células¹, e a velocidade que é mostrada na tela do computador será a média de velocidades para cada uma destas células (ANA, 2009b).

Fiziola, Guimaraes e Guyot (1999) efetuaram uma comparação entre o equipamento ADCP e o molinete hidrométrico na medição de vazão no Rio Solimões em 1996 e constataram que, enquanto o ADCP realizava uma média de 8 medições por dia, o molinete apresentava apenas um valor confiável de vazão. Este fato torna difícil, até mesmo, quase impossível a comparação direta

¹São áreas em vez de pontos e milhares de medidas em cada área em vez de medidas pontuais.

dos resultados, pois se tratam de princípios distintos envolvendo erros de fontes diferentes. Mesmo assim, foi feita uma tentativa de comparação utilizando os valores do molinete com os valores médios diários do ADCP. Foi constatado que o ADCP possui uma boa correlação entre os dados, o que não ocorreu com os dados coletados pelos métodos tradicionais.

Mas, Tulio, Gamaro e Maldonado (2011) constataram que, os erros causados pelo uso da média da profundidade coletada de cada feixe acústico do Doppler possibilitam conclusões errôneas, como nas menores profundidades em canais artificiais com margens verticais. Outro problema detectado foi o não detalhamento do leito em locais de seixos rolados e de areia média grossa.

Carvalho (2008) realizou uma pesquisa sobre as diferenças, vantagens e desvantagens dos métodos diretos (com equipamentos medidores de vazão) e indiretos (forma “manual” de estimar a vazão de rios ou córregos). Sobre os métodos, ele comenta,

“Estes métodos são eficientes, sendo que para cada situação deve-se adotar uma determinada técnica, isso depende de fatores do meio físico e fatores financeiros em que é necessário adquirir equipamentos com custos elevados.”

Para amenizar estes problemas (tempo de permanência embarcado, erros e incertezas), a eletrônica cada vez mais está sendo utilizada, acentuando a automação nos procedimentos laboratoriais e de campo, se tornando factível aplicar a tecnologia existente para aperfeiçoar a aquisição de dados, com a minimização dos erros e da interação humana. De modo geral, a automação reduz a mão de obra humana envolvida na execução de um processo produtivo e, quando adequadamente desenvolvida e aplicada, pode contribuir para a melhoria do processo. Sistemas automáticos contêm a potencialidade de monitoramento das condições em que determinado processo se encontra e mecanismos para auto-ajuste destas condições (SARETTA, 2013).

Os equipamentos ADCP começaram a ser utilizados em pesquisas e monitoramento na bacia Amazônica a partir de 1994, mas antes disso, eram os medidores mecânicos que efetuavam este trabalho. Ficar embarcado num dos maiores rios do planeta (largura superior a 3.200m, profundidade de 35m ou mais, alta velocidade de fluxo $3m.s^{-1}$, além da grande turbulência pelo fundo irregular) é colocar a equipe de pesquisa em risco pelo tempo gasto na utilização dos medidores de vazão convencionais (GAMARO; MALDONADO; LIMA, 2012).

Existem vários modelos de medidores de vazão acústicos no mercado. O *flowtracker* é um desses modelos e conhecido como ADV - Velocímetro Acústico Doppler. Numa comparação entre o *flowtracker* e o ADP-S5 no rio Duas Bocas a jusante da captação de água da Companhia

Espírito Santense de Saneamento (CESAN), Amorim et al. (2011) constataram que os equipamento apresentaram bons resultados e pouca variação na medida da vazão, mas que, o ADP-S5 apresenta vantagens sobre o ADV, pois ele mede em profundidades rasas e mais profundas. Isso faz com que ele seja um equipamento muito versátil, podendo medir desde escoamento laminar, até velocidades altas e com turbulência.

Neste segmento de avanço tecnológico, para aperfeiçoar a coleta de informações, Camargo (2009) criou um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga² e controlado por um microcontrolador PIC18F4550, dispensando mão de obra especializada para sua manipulação, computadores e métodos complexos e de difícil acesso.

Giordani (2008) criou um sistema de aquisição de dados (SAD), que utiliza sensores do tipo PT100 e uma conexão de uma célula de carga para ensaios em implementos agrícolas, comandado por um microcontrolador PIC16F628, e determina o armazenamento dos dados em um “pendrive” e depois manipulando-os através de um aplicativo desenvolvido em linguagem “C++” chamado Módulo Aplicativo.

Kuchler et al. (2010) produziram um equipamento para coleta de dados pluviométricos de baixo custo que opera de forma independente do computador, que registra os dados em sua memória interna num arquivo tipo “.TXT” que são resgatados por um sistema desenvolvido em linguagem Java ou convertidos em um banco de dados XML.

Isso comprova que, com a evolução da tecnologia, a necessidade de melhorar a aquisição de dados está em constante evidência. Portanto, para a melhoria das pesquisas hidrológicas com a utilização do molinete hidrométrico, que utiliza o contador de pulso, um novo equipamento de baixo custo, de fácil manejo, menor porte e que automatize as informações da coleta é de extrema necessidade.

2.1 HIDROLOGIA E HIDROMETRIA

2.1.1 Hidrologia

A palavra HIDROLOGIA é originada das palavras gregas *HYDOR*, que significa “água” e *LOGOS*, que significa “ciência”, logo a hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza, ela como ciência está voltada para os estudos dos processos físicos que ocorrem na

²O princípio de funcionamento das células de carga baseia-se na variação da resistência ôhmica de um sensor denominado extensômetro ou *strain gage*, quando submetido a uma deformação.

bacia hidrográfica.

Os mais antigos trabalhos de drenagem e irrigação em larga escala são atribuídos ao *Faraó Menés*, fundador da primeira dinastia egípcia, que barrou o rio Nilo próximo a *Mênphis*, com uma barragem de 15m e extensão de aproximadamente 500m, para alimentar o canal de irrigação. No Egito, encontram-se os primeiros registros sistemáticos de níveis de enchentes. Estes registros datam de 3.500 a.C. e indicavam aos agricultores a época oportuna de romper os diques para inundar e fertilizar as terras agricultáveis. Nota-se que, aos egípcios, pouco importava o estudo da Hidrologia como ciência e sim a sua utilização.

A origem e a circulação da água da terra tem sido objeto de especulação desde os primórdios, mas a partir de 1850 pode-se considerar o início do desenvolvimento de métodos de uso atuais da prática hidrológica (MAIDMENT, 1993).

A Hidrologia não é uma ciência pura, uma vez que o objeto de estudo é usualmente dirigido para aplicações práticas, sendo assim, o termo “Hidrologia Aplicada” é frequentemente utilizado. Eis algumas das aplicações da hidrologia:

- ◇ Escolha de fontes de abastecimento de água.
 - . Subterrânea - locação do poço e capacidade de bombeamento.
 - . Superficial - locação da barragem, estimativa da vazão afluente e da vazão a ser regularizada, dimensionamento do reservatório e do sangradouro.
- ◇ Drenagem urbana - dimensionamento de bueiros.
- ◇ Drenagem de rodovias - dimensionamento de pontes e pontilhões.
- ◇ Irrigação - fonte de abastecimento, estimativa da evapotranspiração da cultura.
- ◇ Controle de enchentes - dragagem do leito do rio, construção de reservatórios de controle de cheias (STUDART; CAMPOS, 2004).

A Hidrologia Aplicada está voltada para os diferentes problemas que envolvem a utilização dos recursos hídricos, preservação e ocupação da bacia (TUCCI, 2002).

A ocupação desenfreada das bacias pela população é um grande problema a ser estudado: ou a população sofre com enchentes, ou o meio ambiente sofre com o desmatamento ou com o assoreamento dos rios pela poluição e restos de objetos domésticos. Para isso, o planejamento e gerenciamento das bacias hidrográficas estão cada dia mais aplicados, preservando e controlando os recursos naturais.

Para o manejo adequado de bacias hidrográficas, são necessários dados realistas sobre a quantidade de água disponível em cada bacia. Dados de chuva e vazão vêm sendo coletados há

bastante tempo e, apesar da falta de controle na qualidade, fornecem informações importantes da climatologia da bacia (KAN, 2005).

2.1.2 Hidrologia no Brasil

O levantamento das informações necessárias à Hidrologia é realizado através de redes de estações hidrométricas, cujas séries de dados têm sua importância proporcional à sua extensão temporal. No Brasil, muitas estações individualizadas têm mais de cem anos de dados, como é o caso da estação pluviométrica de Morro Velho, com registros desde 1855, e da estação fluviométrica do rio Negro, em Manaus, com registros de níveis desde 1902. As primeiras atividades de coleta de dados hidrológicos de maneira organizada, no entanto, remontam ao início do século passado, mais precisamente em 1920, através da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, com estações voltadas para os estudos específicos de aproveitamentos hidráulicos, visando à energia hidrelétrica.

O cadastro de estações hidrométricas do País foi iniciado por volta de 1968, capitaneado pelo então Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica - **DNAEE** com publicações, mais tarde, dos primeiros Inventários de Estações Fluviométricas e de Estações Pluviométricas. Os últimos Inventários Fluviométricos e Pluviométricos foram publicados em 2001 pela **ANEEL**, que tinha assumido, temporariamente, as atribuições do **DNAEE**, quando de sua extinção. A Agência Nacional de Águas - **ANA**, criada em 17 de julho de 2000, e instituída em 19 de dezembro do mesmo ano, recebeu dentre outras atribuições, a de promover a coordenação das atividades desenvolvidas no âmbito da Rede Hidrometeorológica Nacional, em articulação com os órgãos e entidades públicas e privadas que a integram, ou que dela sejam usuárias, cabendo então, à **ANA**, manter e disponibilizar o cadastro atualizado das estações hidrometeorológicas do País (ANA, 2009a).

Pela Lei nº 9984/2000, a ANA tem por, entre outras, atribuições:

- I. Supervisionar, controlar e avaliar as ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos recursos hídricos.
- II. Disciplinar, em caráter normativo, a implementação, a operacionalização, o controle e a avaliação dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.
- III. Outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União.
- IV. Fiscalizar os usos de recursos hídricos nos corpos de água de domínio da União.

V. Elaborar estudos técnicos para subsidiar a definição, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, dos valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, com base nos mecanismos e quantitativos sugeridos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica.

VI. Estimular e apoiar as iniciativas voltadas para a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica.

VII. Implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União.

VIII. Arrecadar, distribuir e aplicar receitas auferidas por intermédio da cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União.

IX. Planejar e promover ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e inundações, no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, em articulação com o órgão central do Sistema Nacional de Defesa Civil, em apoio aos Estados e Municípios.

X. Promover a elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em obras e serviços de regularização de cursos de água, de alocação e distribuição de água e de controle da poluição hídrica, em consonância com o estabelecido nos planos de recursos hídricos.

XI. Definir e fiscalizar as condições de operação de reservatórios por agentes públicos e privados, visando a garantir o uso múltiplo dos recursos hídricos, conforme estabelecido nos planos de recursos hídricos das respectivas bacias hidrográficas.

O objetivo da ANA é assegurar que os dados coletados pela Rede Hidrometeorológica Nacional sejam efetivamente armazenados, processados, interpretados e difundidos entre todos os segmentos interessados, subsidiando a gestão dos recursos hídricos. Assim, todos os dados hidrometeorológicos convencionais (pluviométricos, fluviométricos, de qualidade de água, sedimentométricos, climatológicos) recebidos e cadastrados no Banco de Dados *HIDRO*, são automaticamente disponibilizados aos usuários por meio da Internet, pelo Sistema de Informações Hidrológicas - HidroWeb, no endereço <http://hidroweb.ana.gov.br>, ou encaminhados por e-mail (hidro@ana.gov.br) ou telefone, quando demandados pelos usuários.

Além dos dados coletados por meio da rede convencional, encontram-se, também, disponibilizados na Internet, pelo Sistema de Monitoramento Hidrológico, no endereço <http://www.ana.gov.br/telemetria>, os dados transmitidos em tempo quase real (com algumas horas de defasagem) pela rede de estações telemétricas sob responsabilidade da ANA, além de estações

telemétricas do Instituto Tecnológico SIMEPAR e de estações telemétricas vinculadas à Resolução ANEEL nº 396, de 4 de dezembro de 19983.

Em seu Banco de Dados HIDRO, a ANA também armazena o cadastro de estações e armazena dados de outras entidades, inclusive de outros países, os quais são enviados com periodicidades variáveis (ANA, 2007).

2.1.3 Hidrometria

A *Hidrometria* é uma parte da hidrologia que permite conhecer o regime hídrico, as disponibilidades hídricas de uma região. A aplicação de modelos matemáticos em hidrometria fornece dados para a medição das vazões (líquidas e sólidas), dos níveis de água em rios, lagos e represas, índices pluviométricos (chuva), entre outros parâmetros que interessam ao estudo da água na natureza. Esses dados sistematizados são informações importantes para elaboração de projetos, estudos e gerenciamento dos recursos hídricos (SEIA, 2010).

Até o início dos anos 1980, as medições eram realizadas de forma análoga ao século anterior. No entanto, a necessidade de atualização e a busca do resultado mais próximo à realidade, fizeram com que hidrólogos e hidrometristas buscassem utilizar novos métodos e meios para medir e equacionar as medições de vazões. Com isso, buscam-se melhorias na instrumentação e nas técnicas de medição, por um uso mais intensivo dos dispositivos de alta velocidade, os quais são computados por tecnologias emergentes que visam um grau elevado de precisão (PITON, 2007).

Para Gamaro (1999),

“[...] até os conceitos básicos de hidrometria devem ser revistos e adaptados, embora sem descartá-los, para essas medições”.

A **fluviometria**, ramo da hidrometria, abrange as medições de vazões e cotas de rios. Os dados fluviométricos são indispensáveis para os estudos de aproveitamentos hidroenergéticos, assim como para o atendimento a outros segmentos, como o planejamento de uso dos recursos hídricos, previsão de cheias, gerenciamento de bacias hidrográficas, saneamento básico, abastecimento público e industrial, navegação, irrigação, transporte, meio ambiente e muitos outros estudos de grande importância científica e sócio-econômica (IBIAPINA et al., 2003).

A fluviometria corresponde à medição da vazão em seções de determinado rio ou curso d'água, visando principalmente o levantamento da sua relação cota-vazão (curva-chave). A partir dos registros das cotas ou níveis do rio ao longo do tempo são geradas séries históricas de vazões,

fundamentais para análise estatística e projeto de estruturas e obras hidráulicas (RICARDO et al., 2008).

2.1.4 Grandezas Características

2.1.4.1 Bacia Hidrográfica

Bacia hidrográfica ou bacia de contribuição de uma seção de um curso de água é a área geográfica coletora de água de chuva que, escoando pela superfície do solo e pelo subterrâneo, atinge a seção considerada.

2.1.4.2 Vazão

É o volume de água escoado na unidade de tempo em uma determinada seção do curso de água. Chama-se *vazão específica* ou *contribuição unitária* a relação entre a vazão em uma seção do curso de água e a área da bacia hidrográfica relativa a essa seção. É comumente expressa em litros por segundo (l/s) ou metros cúbicos por segundo (m^3/s) ou ainda dependendo da extensão por quilômetro cúbico por segundo (Km^3/s).

2.1.4.3 Nível da Água ou Cota

É a altura atingida pela água na seção em relação a uma determinada referência. Pode ser um valor instantâneo ou a média em um determinado intervalo de tempo (dia, mês, ano) (MARTINS, 2002).

2.1.5 Balanço Hídrico

Em hidrologia, balanço hídrico ou processo hidrológico é o resultado da quantidade de água que entra e sai de uma certa área em um determinado intervalo de tempo.

Um modelo simplificado de sistema hidrológico consiste numa superfície plana inclinada impermeável³, confinada nos quatros cantos e com uma saída em um dos cantos (inclinação direcionada para o canto *A*). Desde que a superfície assumida seja completamente plana, não haverá depressões nas quais a água possa se armazenar. Então, se uma chuva for aplicada a este modelo simplificado, surgirá em *A* uma vazão de saída, denominada *escoamento superficial direto*. Pode-se representar o balanço hídrico para este sistema pela seguinte equação:

³A água não atravessa a superfície.

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{dS}{dt} \quad (2.1)$$

onde Q_{in} é a Vazão de Entrada, Q_{out} a Vazão de Saída e $\frac{dS}{dt}$ a Taxa de Variação do armazenamento do sistema por unidade de tempo.

Esta simplicidade no balanço hídrico no entanto é enganosa, pois os termos da equação não podem ser quantificados facilmente ou adequadamente (PORTO; FILHO, 2008).

O balanço hídrico de uma área unitária da superfície da terrestre é formada pelos seguintes componentes:

- P = Precipitação:** entende-se por precipitação a água proveniente do vapor de água da atmosfera, depositada na superfície terrestre de qualquer forma, como chuva, granizo, orvalho, neblina, neve ou geada (HOLTZ, 2000).
- I = Infiltração:** Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda água que chega ao solo, enquanto a superfície do solo não se satura (SILVEIRA, 2002).
- E = Evaporação e Evapotranspiração:** a evaporação é o conjunto dos fenômenos de física que transformam em vapor a água da superfície terrestre do solo, a dos cursos de água, lagos, reservatórios e mares; já a evapotranspiração é a evaporação devida à ação fisiológica dos vegetais. (MARTINS, 2002).
- R = Descarga ou Escoamento:** é o deslocamento da água na superfície da bacia, nos rios, canais e reservatórios, é uma das parcelas mais importantes do ciclo hidrológico (TUCCI, 2002).
- S = Reserva ou Armazenamento:** a água ao se infiltrar no solo por meio das forças gravitacionais e de capilaridade, pode encontrar uma zona de aeração ou uma zona saturada se tornando um aquífero conhecido como lençol subterrâneo (PINTO, 2000).
- U = Uso ou Consumo:** é a porção de água retirada por meios mecânicos para consumo, irrigação, abastecimento de poços, etc.
- T = Transpiração:** a umidade do solo realimentada pela infiltração é aproveitada em parte pelos vegetais, que absorvem pelas raízes e a devolvem, quase toda, à atmosfera, gerando a transpiração na forma de vapor de água (TUCCI, 2002).

São comuns três aplicações da equação do balanço hídrico:

- 1) equação do balanço hídrico para bacias hidrográficas de grandes áreas de drenagem;
- 2) equação do balanço hídrico para corpos d'água, como lagos e reservatórios;
- 3) equação do balanço hídrico para o escoamento superficial direto (*runoff*).

Nos primeiros dois casos, são consideradas as quantidades acima e abaixo da superfície da terra. Em sua forma geral, a equação pode ser escrita para um determinado volume de controle, num dado intervalo de tempo, como:

(Quantidade que entra no volume de controle) - (Quantidade que sai de volume de controle) = variação da quantidade acumulada no interior do volume

ou

$$(P + R_{in} + G_{in}) - (E + T + R_{out}) = dS$$

tendo as componentes a dimensão de volume (L^3), ou vazão (L^3T^{-1}) ou de comprimento (L), onde P = precipitação; R = escoamento superficial; G = escoamento subterrâneo; E = evaporação; T = transpiração; e S = armazenamento, e os índices *in* e *out* referindo-se às quantidades que entram e saem, respectivamente, do volume de controle.

2.1.6 Chuva-Vazão

Os modelos de transformação chuva-vazão tem por objetivo estimar o deflúvio⁴ em um sistema de drenagem qualquer, gerado por um evento de chuva. Buscam reproduzir as fases do ciclo hidrológico entre a precipitação e o escoamento no ponto de interesse.

Existem dois tipos de modelos de chuva-vazão:

- Simples ou evento único - somente chuva e vazão. Um dos modelos que se enquadram nessa categoria é o modelo computacional de chuva-vazão desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center* dos *U.S. Army Corps Engineers* chamado de HEC-1, que apresenta hidrogramas de descarga tanto para eventos históricos quanto hipotéticos, para um ou mais locais na bacia hidrográfica.
- Complexos - envolvem vários fatores. O modelo *Distributed Routing Rainfall-Runoff* (DR3M) desenvolvido pela *U.S. Geological Survey* fornece uma detalhada simulação do escoamento da chuva para períodos selecionados de tempestades. As entradas consistem das precipitações de um curto intervalo e dados de descarga, precipitações diárias, evaporação total, infiltração e dados hidráulicos (DEVRIES; HROMADKA,).

Pinheiro e Naghettini (2010) comentam que os modelos fisicamente fundamentados são os que se baseiam nas equações de conservação de massa, quantidade de movimento e energia, sendo os parâmetros aqueles que mais se aproximam das grandezas que governam a física do

⁴Escoamento, vazão.

sistema, enquanto que os modelos ditos conceituais, são aqueles que relacionam características do processo, embora mantenham razoável empirismo nos parâmetros das equações envolvidas.

A equação da continuidade de massa, e a equação de continuidade da energia são as duas equações básicas que descrevem a física do ciclo hidrológico, mas também descrevem os sistemas que são utilizados para fazer medições de suas propriedades transitórias. Por exemplo, uma forma da equação de continuidade de massa que serve para a determinação da taxa de fluxo de um rio ou canal é,

$$Q = AV \quad (2.2)$$

Na equação (2.2), Q é a velocidade instantânea do fluxo através de uma seção transversal do canal ou rio com a área A e velocidade média do escoamento V . Tradicionalmente, esta taxa de fluxo é conhecida como descarga, e ela pode ser medida diretamente para córregos de tamanhos pequenos. Por outro lado, as dimensões da área da seção transversal pode ser medida, por amostragem espaciais e as velocidades podem ser determinadas através da utilização de medidores de corrente (WMO, 2011).

A necessidade de um levantamento exaustivo de dados é uma das maiores limitações à utilização de modelos mais complexos, o que leva a indagação de qual o aumento de precisão no resultado final que esta prática propicia.

Um modelo que utiliza séries diárias ou mensais de precipitação e evapotranspiração para gerar séries de vazão é conhecido por modelo chuva-vazão SMAP (*Soil Moisture Accounting Procedure*), modelo determinístico com estrutura relativamente simples, desenvolvido para intervalo diário de simulação e posteriormente adaptado para intervalos mensais (LOPES; JR B.P.F.; CONEJO, 1981).

2.2 MEDIÇÕES HIDRÓLOGICAS

2.2.1 Os Parâmetros da Hidrologia

Todos os parâmetros da hidrologia são variáveis no tempo, isto é, possuem evoluções dinâmicas com tendências possibilitando serem representados por leis estatísticas (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

Na hidrologia é muito importante entender que certos parâmetros são adquiridos através

de uma medição pontual e outros por uma representação espacial. Os parâmetros do clima e do meio receptor são pontuais e os parâmetros relativos ao escoamento integram o processo resultante da bacia de drenagem definida. Para estas representações temporal e espacial, usa-se geralmente diversos tipos de mapas, estabelecidos após levantamento de campo.

Para este trabalho, os parâmetros que mais tem importância na aquisição e processamento de dados são as Cotas ou Níveis de Água (seção 2.1.4.3, p. 17) e as Medidas de Vazão (seção 2.3, p. 23).

2.2.2 As Medições Hidrológicas

Medições hidrológicas são feitas para obter dados sobre o processo hidrológico. Estes dados são usados para se entender melhor esse processo e para fornecer informações para os modelos de simulação hidrológica, para análises, projetos ou tomadas de decisão.

A monitoração destes processos hidrológicos são efetuados por estações fluviométricas. A estação fluviométrica é um local que contém equipamentos e dispositivos necessários para as medidas de nível e vazão.

O principal objetivo de uma estação fluviométrica é a obtenção de informação sobre a disponibilidade de recursos hídricos superficiais, a sua distribuição geográfica e a sua variabilidade no decorrer do tempo. A este respeito, é dada uma importância especial a frequência de inundações e secas. Geralmente são instaladas um número suficiente de estações fluviométricas ao longo de um rio. A localização e instalação de uma estação deve levar em consideração, principalmente a topologia e o clima (WMO, 2011).

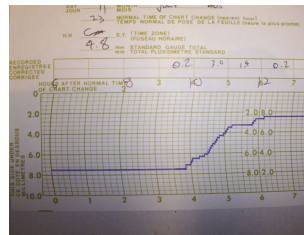
É importante observar alguns aspectos, como:

- ◇ o local deve ser de fácil acesso, mesmo durante épocas de chuvas e cheias;
- ◇ o rio deve ter margens paralelas e fundo regular, com leito livre de vegetação, rocha ou obstáculos;
- ◇ as réguas devem ser instaladas em locais que evite a ação de entulhos ou madeiras pela enchente e tenha uma boa visibilidade;
- ◇ instalar duas referências de nível (RN) de concreto contendo uma placa com cota ou pintado valor da cota no RN;
- ◇ instalar a seção de medição próxima da seção de réguas colocando o ponto inicial de medição (PI) e o ponto final (PF), com escoamento normal, evitando locais com velocidades demasiadamente baixas. Recomenda-se medir velocidades entre $0,3 \text{ m/s}$ e $2,5 \text{ m/s}$.

- ◇ As **precipitações** (quantidade de chuvas) são monitoradas através dos pluviômetros ou pluviógrafos, que recolhem e medem em milímetros lineares líquidos e sólidos e com os dados coletados geram os pluviogramas ou hietogramas, mas atualmente os dados também são obtidos a partir de radares e satélites meteorológicos que determinam a intensidade e distribuição superficial da precipitação de chuva, bem como o tempo inicial e final da chuva em uma bacia hidrográfica. Esses dados são obtidos em forma de filme fotográfico ou digital, utilizando um computador ligado ao radar. Os dados digitalizados podem ser transmitidos sem dificuldade para os escritórios de previsão (WMO, 2011);



(a) Pluviômetro



(b) Hietograma

- ◇ A **evaporação** e a **evapotranspiração** utilizando os equipamentos evaporímetro - atmômetros e os tanques de evaporação; e o lisímetro - estrutura constituída de um reservatório de solo com volume mínimo de 1 m^3 , providos de um sistema de drenagem e instrumentos de operação;
- ◇ Para o **escoamento superficial** tem-se o hidrograma unitário, que é representação gráfica da vazão que passa por uma seção, ou ponto de controle, em função do tempo. A caracterização de um hidrograma (figura 4) é feita a partir de observações e registros das variações de vazão no decorrer do tempo. O hidrograma de uma onda de cheia é formado pela superposição de dois tipos distintos de afluxos: um proveniente do escoamento superficial (subsuperficial + precipitação direta) e outro, da contribuição do lençol subterrâneo (STUDART; CAMPOS, 2004).

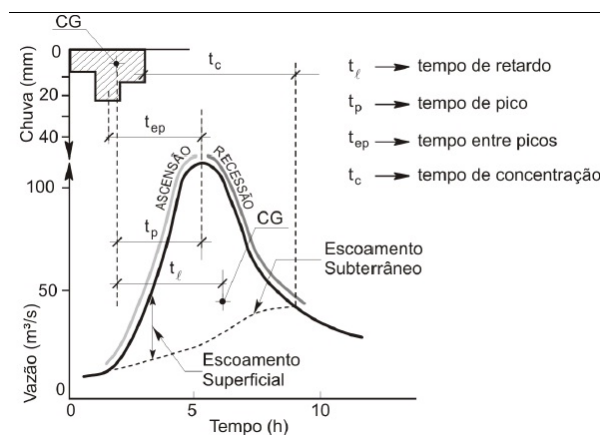
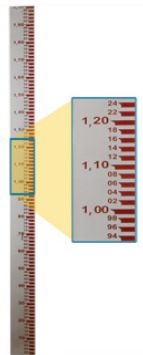


Figura 4: Hidrograma
Fonte: (COLLISCHONN, 2003)

- ◇ A **medição das cotas** ou **nível** de um curso de água é feita através de uma régua conhecida como linímetro e nivelada com referência a um *datum*⁵. As régua são geralmente constituí-

⁵Datum, do latim *dado*, em cartografia refere-se a superfície da Terra ao nível do mar em um mapa.

das de elementos verticais de 1 m graduados em centímetros. Atualmente, já existem aparelhos conhecidos por *linígrafos* que grava automaticamente as variações do nível ao longo do tempo (CHEVALLIER, 2002).



(a) Linímetro



(b) Linígrafo

Fonte: www.hidromec.com.br

- ◇ E o parâmetro base desse trabalho: A **medição de vazão**.

2.3 MEDIDAS DE VAZÃO

Filho et al. (2009) comentam que,

“Os dados obtidos em um trabalho de medição de vazão podem ser usados em projetos de planejamento da área que se encontra no entorno do rio. Também podem servir para outros usos, tais como: estudos de identificação da capacidade de captação da água para consumo variado; potencial para construção de usinas hidrelétricas; etc.”

Medição de vazão em hidrometria é todo processo empírico utilizado para determinar a vazão de um curso de água. A vazão ou descarga de um rio é o volume de água que passa através de uma seção transversal na unidade de tempo (em geral um segundo).

As medições de vazão são feitas periodicamente em determinadas seções dos cursos d'água (as estações ou postos fluviométricos). Diariamente ou de forma contínua medem-se os níveis d'água nos rios e esses valores são transformados em vazão através de uma equação chamada de *curva-chave*.

As medições de vazão podem ser feitas de diversas formas: volumétrico, colorimétrico, estruturas hidráulicas (calhas e vertedores), velocimétrico, eletromagnético, acústico (ADCP) ou por molinetes hidrométricos.

A escolha do método depende das condições de cada caso. Nesse trabalho, o tipo de medição que importa é dada através da determinação da velocidade do fluxo numa seção de controle, efetuado através dos *molinetes hidrométricos*.

O método para obtenção da vazão pelo processo área-velocidade, onde a profundidade de fluxo na seção transversal é medido em verticais com uma haste ou uma linha de som (figura 5). À medida que a profundidade é verificada, as observações de velocidade são obtidos com um medidor de corrente em um ou mais pontos na vertical. As larguras medidas, profundidades e velocidades permitem o cálculo da vazão da seção e o somatório dessas descargas determina a vazão total (WMO, 1994).

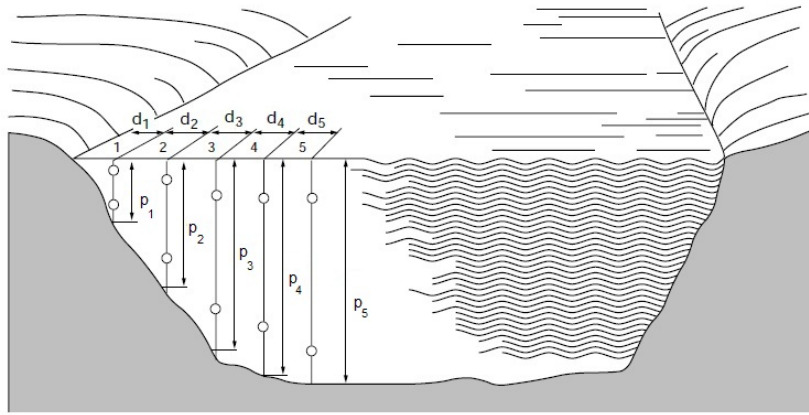


Figura 5: Seção Transversal de um rio com seus pontos de observação. Adaptado de (WMO, 1994)

Este método de medição consiste em se medir as profundidades (p) em alguns pontos da seção transversal, as distâncias (d) entre esses pontos e a velocidade média (v) em cada vertical.

2.3.1 Medição de Vazão pelo Método da Meia Seção

O método da meia seção considera os setores retangulares definidos pela profundidades médias entre duas verticais adjacentes. Encontra-se a vazão das áreas das seções e o somatório dessas vazões por área, determinam a vazão total (BACK, 2006).

Então, seja D a largura de uma seção transversal de um rio. Pode-se dividir D em d_i subseções, $i = 1, 2, \dots, n$ e i conhecido como quantidade de verticais.

Uma semidistância (sd_i) entre três as verticais $i - 1$, i e $i + 1$, mostrada na figura 6, é dada por:

$$sd_i = \left(\frac{d_i + d_{i+1}}{2} - \frac{d_{i-1} + d_i}{2} \right) = \left(\frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2} \right) \quad (2.3)$$

Com isso, podemos definir uma área S_i desta semidistância, tomando,

$$S_i = sd_i \cdot p_i \quad (2.4)$$

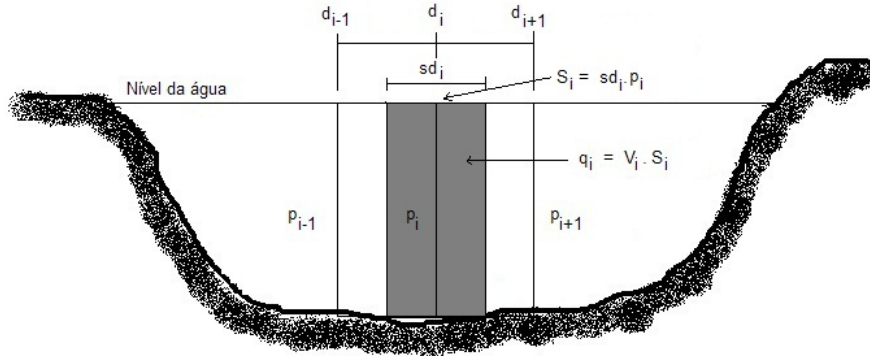


Figura 6: Área de uma seção transversal de um rio - Adaptado de (PINTO et al., 2000)

Então, supondo que V_i seja igual a velocidade média numa determinada vertical i em torno da qual se mede a área $S_i = sd_i \cdot p_i$, obtém-se a vazão q_i da subseção dada por:

$$q_i = V_i \cdot S_i \quad (2.5)$$

A vazão final Q , através de toda a seção D , é o somatório de todas as vazões das subseções q_i , portanto,

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n V_i \cdot S_i \quad (2.6)$$

Para um melhor resultado do cálculo de vazão e do estabelecimento das distâncias entre os perfis verticais, faz-se o levantamento batimétrico⁶ do perfil transversal (figura 7). Este processo permitirá um melhor conhecimento da morfologia de fundo para a determinação da localização de cada perfil vertical e de sua respectiva profundidade (CORREA, 2009).

⁶Batimetria é o levantamento do leito do rio por pontos medindo a profundidade a diferentes distâncias do ponto inicial.

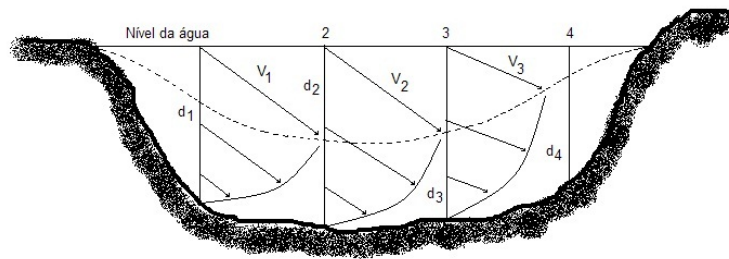


Figura 7: Descarga líquida do perfil transversal de um rio - Adaptado de (TUCCI, 2005)

Com isso, este método de medição, consiste em se medir as profundidades em alguns pontos da seção transversal (p_i), as distâncias horizontais entre esses pontos (d_i) e a velocidade média (V_i) em cada vertical considerada. A distância horizontal entre as margens do rio e entre cada vertical (d_i) é feita através de um cabo graduado estendido acima do nível da água, se a largura do rio não for muito grande, caso contrário, através de teodolito. O número de verticais a ser adotado deve ser fixado em função da forma da seção e da distribuição de velocidades (PINTO; HOLTZ, 2000).

Nas tabelas 1 e 2 encontram-se os valores recomendados para *distância* recomendada entre os pontos de uma seção transversal de acordo com a largura do rio e o *número de pontos* recomendados a serem obtidos sobre cada seção vertical de acordo com a profundidade do rio.

Tabela 1: Distância recomendada entre cada seção vertical

Largura do rio (m)	Distância entre as verticais (m)
< 3	0,3
3 a 6	0,5
6 a 15	1,0
15 a 30	2,0
30 a 50	3,0
50 a 80	4,0
80 a 150	6,0
150 a 250	8,0
> 250	12

(SANTOS et al., 2001)

Tabela 2: Número de pontos e posição na medição vertical do rio

Profundidade	Pontos	Posição dos Pontos	Cálculo da Velocidade
0,15 a 0,60	1	0,6p	$\bar{V}_i = v_{i0,6p}$
0,60 a 1,20	2	0,2 e 0,8p	$\bar{V}_i = \frac{(v_{i0,2} + v_{i0,8})}{2}$
1,20 a 2,00	3	0,2; 0,6 e 0,8p	$\bar{V}_i = \frac{(v_{i0,2} + 2.v_{i0,6} + v_{i0,8})}{4}$
2,00 a 4,00	4	0,2; 0,4; 0,6 e 0,8p	$\bar{V}_i = \frac{(v_{i0,2} + 2.v_{i0,4} + 2.v_{i0,6} + v_{i0,8})}{6}$
> 4,00	6	S, 0,2; 0,4; 0,6; 0,8p e F	$\bar{V}_i = \frac{v_S + 2.(v_{i0,2} + v_{i0,4} + v_{i0,6} + v_{i0,8}) + v_F}{10}$

S = superfície, F = fundo.
(SANTOS et al., 2001)

A *U. S. Geological Survey* determinou como padrão para rios rasos (onde as profundidades são menores que 0,6m) e perto das margens de rios mais profundos, que as medições sejam feitas em 0,60p de profundidade; da mesma forma, medir a 0,2 e 0,8 da profundidade para rios com profundidade superior a 2m (CHOW; MAIDMENT; MAYS, 1988).

2.3.2 Determinando a Profundidade na Vertical

Caso a profundidade do rio seja inferior a 1m a determinação é feita a vau, através do uso haste graduada, que serve como sustentador do molinete hidrométrico (seção 2.3.3, p. 29), (PINTO; HOLTZ, 2000).

No caso de profundidades superiores a 1m, são efetuados os seguintes procedimentos: 1) o equipamento deverá estar preso a um cabo graduado, controlado por um guicho e o molinete instalado com um lastro⁷; 2) Alinha-se o molinete até o mesmo ficar no nível da água (NA), zerando a marcação no cabo ou anotando-se o valor inicial (figura 8(a)a); 3) Solta-se o cabo até o lastro atingir o fundo e faz-se a leitura no cabo L (figura 8(b)b). A profundidade será,

⁷Base pesada para manter o molinete na posição vertical.

$$p = L + d - NA \quad (2.7)$$

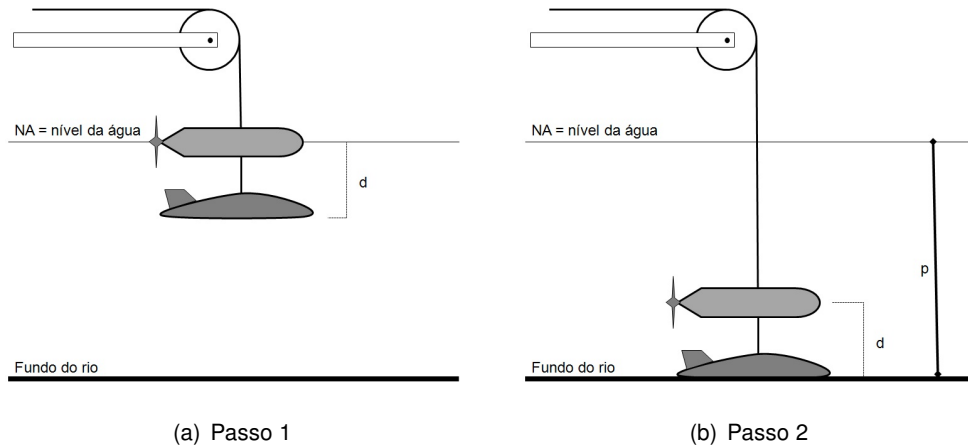


Figura 8: Determinação da Profundidade

Fonte: (PINTO; HOLTZ, 2000)

No caso de altas velocidades de fluxo, poderá existir um deslocamento do equipamento em relação à vertical (figura 9), corrigindo-se da seguinte forma:

1. Mede-se o ângulo α ;
2. Mede-se \overline{ab} ;
3. Mede-se \overline{af} ;
4. Calcula-se $\overline{ae} = \overline{ab} \cdot \sec(\alpha)$;
5. Calcula-se $\overline{ef} = \overline{af} - \overline{ae}$;
6. Multiplica-se \overline{ef} por um valor C característico de cada equipamento, referente ao ângulo α encontrado, com isso, obtém-se \overline{bc} .

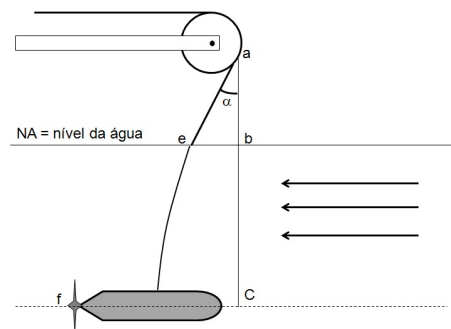
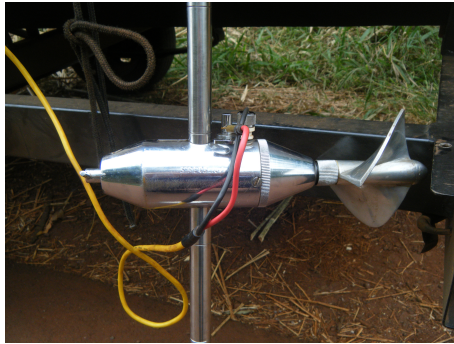


Figura 9: Deslocamento do equipamento devido ao alto fluxo do rio

Fonte: (PINTO; HOLTZ, 2000)

2.3.3 Molinete Hidrométrico ou Fluviométrico

O molinete hidrométrico (figura 10(a)), também conhecido como (**FCM** - Flow Current Meter, é um dos equipamentos utilizados para medir a velocidade do fluxo de rios e determinar sua vazão. Ele é equipado com uma hélice que gira em torno de um eixo, no sentido do fluxo, com o princípio de que esta rotação “abre e fecha” um circuito elétrico.



(a) Molinete na Haste



(b) F.C.M.

Figura 10: Molinete Hidrométrico

Piton (2007) comenta que uma restrição à utilização do molinete se dará para velocidades abaixo de $3\text{cm/s} = 0,03\text{m/s}$ e uma profundidade inferior a $0,3\text{m}$.

O contador de pulso (figura 13) recebe o sinal emitido pelo molinete e vai contando o números de voltas durante um intervalo de tempo pré-fixado.

A velocidade angular da hélice é transmitida a uma mecanismo de contagem do número de giros (mecânico ou eletromecânico) que emite um sinal para número de rotações efetuadas. Marca-se o tempo entre esses sinais, e pode-se calcular o número de rotações por segundo pela expressão:

$$N = \frac{R}{t} \quad (2.8)$$

onde, N é o número de rotações por segundo, R o número de rotações registradas no contador de pulsos e t o tempo de medição em segundos.

Como tempo de medição adota-se valores na faixa entre 40 e 60 segundos, porém alguns pesquisadores utilizam até 120 segundos (BACK, 2006).

Com isso, tem-se que velocidade de rotação da hélice está diretamente relacionada com o fluxo, através de uma equação, conhecida como **equação do molinete**:

$$V = a.N + b \quad (2.9)$$

onde, V é a velocidade do fluxo; N é a velocidade de rotação; a e b são as constantes características de cada hélice e de cada fabricante (figura 11). Estas constantes podem ser modificadas, pois a hélice sofre desgaste ou perde sua calibração e a nova calibragem é efetuada por empresas especializadas.

O valor do coeficiente a representa o passo da hélice, isto é, o percurso de um elemento da corrente líquida que vai determinar uma rotação completa da mesma. Os valores desse passo para velocidade de $1m/s$ são (BACK, 2006):

$a = 0,125m$ com 8 rot/s ;

$a = 0,25m$ com 4 rot/s ;

$a = 0,50m$ com 2 rot/s ;

$a = 1m$ com 1 rot/s ;

Angst (2008) apresenta na sua pesquisa a utilização do molinete $MLN - 07$ com a hélice $JC - 017/06$ e suas respectivas equações:

$$\begin{aligned} N &= \text{n}^\circ \text{ de giros por segundo} \\ V &= 0,01641847 + 0,25366065.N, \text{ para } N < 0,5051 \text{ e} \\ V &= 0,00233053 + 0,28154932.N, \text{ para } N > 0,5051. \end{aligned}$$



Figura 11: Hélice modelo $JC - 032/07$

A escolha da hélice para a medição interfere e muito no processo, pois se a velocidade de rotação for alta demais o contador pode dar resultados errados, ou se a rotação for muito baixa pode apresentar turbulência no escoamento, prejudicando a medição.

Alguns dos equipamentos que acompanham o molinete hidrométrico são:

- ◇ Um suporte, chamado de haste a vau graduada para rios com profundidades inferiores a 2m;



Figura 12: Haste graduada

- ◇ Dois cabos conectores, composto de um positivo (sinal) e um negativo (terra);
- ◇ Um lastro para flutuabilidade;
- ◇ Um contador de pulso ou contador de giros;



Figura 13: Contador de Pulso

2.3.4 Erros na Medição

Os erros mais comuns na medição de vazão são: os cálculos da área da seção, por vezes erros em relação a profundidade ou ao desvio do molinete; o próprio molinete está fora de calibração; erros de anotação e leitura; erros de cálculos; erro no contador de pulso, como citado anteriormente (seção 2.3.3, p. 29), dependendo do fluxo existe uma margem de erro de uma a duas voltas no eixo até o início da contagem; o cabo de medição das verticais não está dividido corretamente, bem como o cabo de sustentação do molinete não estar graduado corretamente.

Alguns desses erros são inevitáveis (leitura e anotações, profundidade, desvio, contador de pulso), mas todos podem ser minimizados, enquanto que outros podem ser melhorados com um equipamento mais equilibrado, bem graduado e calibrado.

Pinto e Holtz (2000) comentam que,

“Durante a medição pode haver variação do nível da água, neste caso o melhor procedimento é a diminuir o tempo da medição, utilizando um processo mais simples (1 ou 2 pontos) ou eliminando algumas verticais de maneira que a alteração não acarrete em erro muito grande...”

Mas é claro que, qualquer procedimento que interfira na medição a tendência a um erro maior se predispõe.

Na medição através do molinete espera-se uma margem de erro de 2% para condições excelentes e de até 15% para condições desfavoráveis, se contarmos mais os erros acima isso pode chegar até 20%. A média de erros na medição encontrada nas pesquisas é de 5% (PINTO; HOLTZ, 2000).

2.3.5 Curva-Chave

A **Curva-chave** é uma relação nível-vazão numa determinada seção do rio. Dado o nível do rio na seção para a qual a expressão foi desenvolvida, obtém-se a vazão. Não é apenas o nível da água que influencia a vazão: a declividade do rio, a forma da seção (mais estreita ou mais larga) também alteram a vazão, ainda que o nível seja o mesmo. Entretanto, tais variáveis são razoavelmente constantes ao longo do tempo para uma determinada seção. A única variável temporal é o nível. Desta forma, uma vez calibrada tal expressão, a monitoração da vazão do rio no tempo fica muito mais simples e com um custo muito menor.

Para se determinar a expressão da curva-chave, precisamos medir a vazão para diversos níveis. Tais pares de pontos podem ser interpolados, definindo a expressão matemática da curva-chave (PORTO; FILHO; SILVA, 2008).

De acordo com Chevallier (2002) e Pinto e Holtz (2000) são frequentemente utilizados dois tipos de equações para descrever a curva-chave:

a) exponencial:

$$Q = \alpha(H - H_0)^\beta \quad (2.10)$$

onde H é o nível da régua correspondente a vazão Q , H_0 é o nível da régua para o qual a vazão é nula e α e β são constantes representativas da seção fluviométrica de interesse;

b) polinomial:

$$Q = a_0 + a_1H + a_2H^2 + \dots + a_nH^n \quad (2.11)$$

onde a_i são as constantes próprias a cada estação e n é o grau do polinômio. A escolha de qual equação ser usada, fica a critério do hidrometrista.

Bertoldo e Righes (2004) constataram em sua pesquisa que, na calha Parshall do arroio da bacia-escola urbana em Santa Maria - RS, a equação linear da curva-chave é aplicável até 0,65 m de altura da lâmina de água para determinação da área. Acima disso, uma equação polinomial do 2º grau proporciona modelo fiel com excelente ajuste e representatividade.

A expressão da curva de descarga (curva-chave) pode ser obtida pelo método das diferenças finitas ou pelo método dos mínimos quadrados e seu interesse está ligado à extrapolação de vazões não calculadas pelas medições diretas.

A extrapolação não deve ser efetuada sem um cuidadoso estudo das condições locais referente às mudanças do tipo de controle para maiores vazões. Nem sempre a curva-chave é esprimível por uma simples equação e pode apresentar um ou vários pontos de inflexão no seu gráfico (PINTO; HOLTZ, 2000).

Para o caso de limitadas observações diretas, um recurso utilizado para as extrapolações é o método de Steven, baseado na fórmula de Chézy⁸:

$$Q = KA\sqrt{R},$$

onde, K é a constante de declividade, R é o raio hidráulico e A a área da seção. Grafando-se Q em função de $A\sqrt{R}$ tem-se ponto sobre uma reta que, extrapolada, fornecerá os dados para o prolongamento da curva-chave (PINTO; HOLTZ, 2000).

Como as cotas são tomadas com relação a um referencial arbitrário (fixado e materializado na superfície) o “zero” da régua sempre representará uma vazão positiva, mas o H_0 poderia ser entendido como sendo a leitura do nível da água onde a régua é nula.

Para determinar os parâmetros de ajuste a partir dos pares $(Q; H)$, a expressão geral da equação (2.10) é linearizada, determinando-se α e β por regressão linear e H_0 por tentativa e erro (TUCCI, 2005).

Linearizando a equação (2.10) através das propriedades dos logaritmos, tem-se,

$$Q = \alpha(H - H_0)^\beta,$$

$$\text{Log } Q = \text{Log } \alpha + \beta \cdot \text{Log } (H - H_0),$$

⁸Engenheiro francês Antoine de Chézy

Fazendo $Y = \text{Log } Q$, $A = \text{Log } \alpha$, $X = \text{Log } (H - H_0)$ e $B = \beta$ na equação anterior, obtém-se,

$$Y = A + BX. \quad (2.12)$$

2.4 Microcontroladores

Lion (1959) afirmava que,

“O objetivo da instrumentação é obter informações sobre a natureza física ou química de um objeto de investigação ou de processo, ou para o controle de um objeto ou de um processo de acordo com tais informações.”

Atualmente, esse princípio da instrumentação está amplamente aplicado, seja nas áreas humanas, exatas, biológicas ou agrárias, e o fator fundamental para o avanço dessa instrumentação foi o surgimento dos microcontroladores.

Um microcontrolador é um circuito integrado, que possui toda a arquitetura de um computador, ou seja, da *Central Process Unit* (CPU), *Random Access Memory* (RAM), *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM), e circuitos de entrada e de saída. O microcontrolador pode ser programado para executar uma simples tarefa ou até o controle de robôs sofisticados (REYES, 2008).

Muitos produtos que temos disponíveis hoje em dia, simplesmente não existiriam, ou não teriam as mesmas funcionalidades sem um microcontrolador. É o caso, por exemplo, de vários instrumentos biomédicos, instrumentos de navegação por satélites, detetores de radar, equipamentos de áudio e vídeo, eletrodomésticos, entre outros. Entretanto, o alcance dos microcontroladores vai além de oferecer algumas facilidades. Uma aplicação crucial, onde os microcontroladores são utilizados, é na redução de consumo de recursos naturais. Existem sistemas de aquecimento modernos que captam a luz solar e, de acordo com a demanda dos usuários, controlam a temperatura de forma a minimizar perdas (DENARDIN, 2012).

O primeiro microcontrolador foi lançado pela *Intel* em 1978 e recebeu a sigla 8048 que depois evoluiu dando origem à família 8051. Atualmente, *Intel* oferece a família 8096 que trabalha em 16 bits, possibilitando uma maior capacidade de processamento. Hoje em dia, uma grande quantidade de fábricas de semicondutores oferecem microcontroladores, dentre elas, destacam-se a *Zilog* com sua família *Z8*, a *National* com o *COP8*, a *Motorola* com o 6811 e a empresa *Microchip*

com os seus PIC.

Souza (2011) se utilizou da instrumentalização eletrônica para atualizar o processo de uma sonda que coletava informações de um corpo de água (pH, temperatura, oxigênio, entre outros), fazendo com que, além de efetuar a análise físico-química, também se podia visualizar as informações apresentadas e gravá-las em um cartão de memória *PC-CARD*. Para seu projeto, utilizou um microcontrolador 8051 da linha *MCS* – 51 de controladores de 8 bits.

A Microchip localizada na cidade de Chandler - Arizona, desde 2002 ocupa o primeiro lugar no ranking das maiores vendedoras de microcontroladores de 8 bits. Seu sucesso é a grande variedade de modelos (mais de 180 modelos), a grande versatilidade, grande velocidade, baixo custo, baixo consumo de energia e a disponibilidade de *softwares* livres para sua programação (REYES, 2008).

Os microcontroladores PIC apresentam uma estrutura de máquina interna do tipo *Havard*, enquanto grande parte dos microcontroladores tradicionais apresentam uma arquitetura tipo Von-Neumann. A diferença entre as arquiteturas está na forma como os dados e o programa são processados pelo microcontrolador. Na arquitetura *Havard* existem dois barramentos internos (um de dados, outro de instruções) enquanto que, na Von-Neumann há apenas um barramento interno de 8 bits. O PIC possui o barramento de dados de 8 bits mas, o de instruções pode ser de 12, 14 ou 16 bits dependendo do modelo (SOUZA, 2007; ZANCO, 2008).

Giordani (2008) no seu sistema de aquisição de dados para ensaios de máquinas agrícolas, utilizou um microcontrolador da família *PIC* modelo PIC16F628 que possui as seguintes características: 64 Kb de memória de programa, 3968 bytes de memória SRAM - *Static Random Access Memory*, 25 pinos de entrada e saída, 3 fontes de interrupção externa, suporte à programação ICSP - *In-Circuit Serial Programming*, 4 timers e 1 UART - *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter* interna.

Pina et al. (2007) usaram um microcontrolador PIC18F452 e a linguagem PICC para a criar um equipamento que ativasse as bombas e as válvulas solenóides de uma tubulação de gás butano. A seleção do modelo PIC18F452 se deu pelo fato que o microcontrolador possui uma velocidade de 40 *Mhz*, alcançando velocidade suficiente para manter a comunicação em tempo real com o computador industrial e efetuar a medição do fluxo principal. Para leitura dos dados, usaram um *Display* de *LCD* 16x2, isto é, 16 colunas e 2 linhas, com luz de fundo e um conversor de nível *TTL* para *RS485*.

Como as memórias dos microcontroladores não são tão grandes para um armazenamento de todas as informações processadas, sente-se a necessidade de utilizar outra unidade de armazenamento. Os cartões de memória *SD-MMC* permitem uma grande capacidade de armazenamento e uma grande disponibilidade no mercado a baixo custo (HENAO; CARDONA, 2010).

A tabela 3 abaixo, apresenta algumas das características do microcontrolador PIC18F452:

Característica	PIC18F452
Frequência de Operação	DC 40 MHZ
Memória de Programa Flash (Bytes)	32 K
Memória de Programa (Instruções)	16384
Memória de Dados RAM (Bytes)	1536
Memória de Dados EEPROM	256
Timers	1 de 8 bits e 3 de 16 bits
Comunicação Serial	MSSP, Addressable USART
Instruções	75
Low Voltage Detect Programável	Sim

Tabela 3: Características do PIC18F452 - (MICROCHIP, 2006)

2.5 MÉTODO DE APROXIMAÇÃO DOS MÍNIMOS QUADRADOS

O método dos mínimos quadrados é amplamente utilizado, sendo conhecido também por *otimização linear*, *análise de regressão* e *suavização de dados*. No caso de suavização de dados, quando dispomos de uma tabela de pontos, a técnica dos mínimos quadrados é utilizada para determinarmos um conjunto de parâmetros c_j de uma função f^* que aproxima uma função desconhecida f .

Seja a função f^* dada por:

$$f^*(x) = c_1\phi_1(x) + c_2\phi_2(x) + \dots c_n\phi_n(x) \quad (2.13)$$

Os parâmetros c_j surgem de forma linear na expressão (2.13), embora funções $\phi(x)$ possam ser não lineares em x .

Seja $f(x_i; y_i)$; $i = 1, \dots, m$ um conjunto de pontos de uma tabela. A função f^* que melhor se ajusta, no sentido dos mínimos quadrados, aos pontos da tabela é definida como aquela

cujos parâmetros c_j são determinados de tal forma que a soma dos quadrados dos resíduos⁹ seja mínima, ou seja,

$$r = \sum_{i=1}^m r_i^2 = \sum_{i=1}^m (f^*(x_i) - y_i)^2 = \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i))^2 \quad (2.14)$$

onde m é o número de dados ou pontos e r é o resíduo ou erro.

Do cálculo diferencial sabe-se que, para se obter o ponto de mínimo de uma função, tem-se que determinar seus pontos críticos. Assim, no caso da função $r(c_j)$, devemos ter:

$$\frac{\partial r}{\partial c_j} \Big|_{(c_1, \dots, c_n)} = 0 \quad (2.15)$$

Calculando as derivadas parciais, tem-se,

$$\frac{\partial r}{\partial c_j} = 2 \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_j(x_i)) \quad (2.16)$$

Impondo a nulidade das derivadas, obtém-se,

$$\sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_j(x_i)) = 0 \quad \forall j, j = 1, \dots, m \quad (2.17)$$

Com isso, obtém-se as seguintes equações,

$$\begin{aligned} j = 1 &\rightarrow \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_1(x_i)) = 0 \\ j = 2 &\rightarrow \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_2(x_i)) = 0 \\ j = 3 &\rightarrow \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_3(x_i)) = 0 \\ &\vdots \\ j = n &\rightarrow \sum_{i=1}^m (y_i - c_1\phi_1(x_i) - c_2\phi_2(x_i) - \dots - c_n\phi_n(x_i)) \cdot (-\phi_n(x_i)) = 0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Reescrevendo as equações (2.18), obtém-se,

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m (\phi_1(x_i)\phi_1(x_i))c_1 + \sum_{i=1}^m (\phi_2(x_i)\phi_1(x_i))c_2 + \dots + \sum_{i=1}^m (\phi_n(x_i)\phi_1(x_i))c_n &= \sum_{i=1}^m (\phi_1(x_i)y_i), \\ &\vdots \end{aligned}$$

⁹Resíduo ou Erro: É a diferença entre o ponto real e o ponto aproximado.

$$\sum_{i=1}^m (\phi_1(x_i)\phi_n(x_i))c_1 + \sum_{i=1}^m (\phi_2(x_i)\phi_n(x_i))c_2 + \dots + \sum_{i=1}^m (\phi_n(x_i)\phi_n(x_i))c_n = \sum_{i=1}^m (\phi_n(x_i)y_i) \quad (2.19)$$

O conjunto de equações (2.19), formam um sistema de equações algébricas lineares nas variáveis c_j . Essas equações são conhecidas na literatura como equações normais.

Então, tem-se m equações para n incógnitas, formando o sistema $\mathbf{A} \cdot \mathbf{C} = \mathbf{B}$, sendo \mathbf{A} uma matriz formada por $a_{ij} = \sum_{k=1}^m (\phi_i(x_k)\phi_j(x_k)) = a_{ji}$, $\mathbf{C} = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ e $\mathbf{B} = \sum_{k=1}^m (\phi_i(x_k)y_k)$.

É possível mostrar que, se as funções $\phi_m(x)$ são linearmente independentes, o determinante da matriz \mathbf{A} é não-nulo e o sistema tem solução única e a solução minimiza a função $R(c_1, c_2, \dots, c_n)$.

2.5.1 Ajuste Polinomial

2.5.1.1 Ajuste por uma Reta

O ajuste por uma reta é também conhecido como regressão linear. É obtido considerando: sejam os pontos $(x_i; y_i)$, $i = 1, \dots, m$ e a função $f^*(x) = a_0 + a_1x$ (equação de uma reta), assim,

$$r_i = y_i - f^*(x_i) = y_i - (a_0 + a_1x) \quad (2.20)$$

Sabe-se que $\sum r_i^2$ deve ser minimizado, então, comparando os termos de (2.14) e (2.20), tem-se,

$$\phi_1(x) = 1; \quad c_1 = a_0 \quad e \quad \phi_2(x) = x; \quad c_2 = a_1.$$

Utilizando as equações normais (2.19) que formam o sistema $A \cdot C = B$ conduz a,

$$\begin{aligned} a_{11} &= \sum_{k=1}^m \phi_1(x_k)\phi_1(x_k) = \sum_{k=1}^m 1.1 = m; \\ a_{12} &= \sum_{k=1}^m \phi_1(x_k)\phi_2(x_k) = \sum_{k=1}^m 1.x_k = \sum_{k=1}^m x_k; \\ a_{22} &= \sum_{k=1}^m \phi_2(x_k)\phi_2(x_k) = \sum_{k=1}^m x_k.x_k = \sum_{k=1}^m x_k^2; \\ b_1 &= \sum_{k=1}^m y_k\phi_1(x_k) = \sum_{k=1}^m 1.y_k; \\ b_2 &= \sum_{k=1}^m y_k\phi_2(x_k) = \sum_{k=1}^m y_k.x_k. \end{aligned}$$

Na forma matricial,

$$\begin{pmatrix} m & \sum_{k=1}^m x_k \\ \sum_{k=1}^m x_k & \sum_{k=1}^m x_k^2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^m y_k \\ \sum_{k=1}^m y_k x_k \end{pmatrix}.$$

Utilizando, por exemplo, a *Regra de Cramer* para obter a solução, tem-se,

$$c_1 = \frac{\sum_{k=1}^m y_k \sum_{k=1}^m x_k^2 - \sum_{k=1}^m y_k x_k \sum_{k=1}^m x_k}{m \sum_{k=1}^m x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2}, \quad (2.21)$$

$$c_2 = \frac{m \sum_{k=1}^m y_k x_k - \sum_{k=1}^m x_k \sum_{k=1}^m y_k}{m \sum_{k=1}^m x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2}. \quad (2.22)$$

Dividindo a equação (2.22) por m , tem-se,

$$c_2 = \frac{\sum_{k=1}^m y_k x_k - \frac{\sum_{k=1}^m x_k \sum_{k=1}^m y_k}{m}}{\sum_{k=1}^m x_k^2 - \frac{\left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2}{m}}. \quad (2.23)$$

Reescrevendo $x_k = X$, $y_k = Y$ e expressando as equações (2.21) e (2.23) em função de A e B da equação (2.12), tem-se,

$$B = c_2 = a_1 = \frac{\sum YX - m\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - m(\bar{X})^2} \quad (2.24)$$

e

$$A = c_1 = a_0 = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (2.25)$$

onde $\bar{X} = \frac{\sum X}{m}$ e $\bar{Y} = \frac{\sum Y}{m}$ e m a quantidade de dados (ROQUE, 2000).

Com isso, a função de regressão toma a forma: $f^*(x) = A + Bx$. A demonstração da equação $A = c_1$ acima é apresentada no Apêndice A.

2.5.1.2 Ajuste Polinomial Geral

Analogamente aos casos anteriores, a função de ajuste pode ser considerada uma função polinomial de grau n , ou seja,

$$f^*(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n. \quad (2.26)$$

Estabelecendo as equivalências entre os coeficientes a_i e os c_j , e após algumas operações, obtém-se as equações normais,

$$\begin{pmatrix} m & \sum_{k=1}^m x_k & \dots & \sum_{k=1}^m x_k^n \\ \sum_{k=1}^m x_k & \sum_{k=1}^m x_k^2 & \dots & \sum_{k=1}^m x_k^{n+1} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \sum_{k=1}^m x_k^n & \sum_{k=1}^m x_k^{n+1} & \dots & \sum_{k=1}^m x_k^{2n} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{k=1}^m y_k \\ \sum_{k=1}^m y_k x_k \\ \vdots \\ \sum_{k=1}^m y_k x_k^{n-1} \end{pmatrix}. \quad (2.27)$$

O sistema (2.27) possui solução única desde que os pontos x_i sejam distintos. Como é assumido que isso se verifica, a solução do sistema existe e, portanto, a função de ajuste polinomial é obtida.

2.5.2 Ajuste Não Linear

2.5.2.1 Casos Redutíveis ao Linear

Seja uma função exponencial de ajuste na forma,

$$f^*(x) = c_1 e^{c_2 x}. \quad (2.28)$$

Os coeficientes c_1 e c_2 são determinados através de uma mudança de variável, na tentativa de reduzir o problema a um ajuste linear.

Considerando a mudança,

$$z = \ln f^*(x) = \ln y,$$

e utilizando-se das propriedades dos logaritmos, dessa relação pode-se obter,

$$z = \ln(c_1 e^{c_2 x}) = \ln c_1 + \ln e^{c_2 x} = \ln c_1 + c_2 x.$$

Considerando $c'_1 = \ln c_1$, reduz-se o problema ao caso linear, pois,

$$z = c'_1 + c_2 x \Rightarrow \phi_1(x) = 1, \phi_2(x) = x. \quad (2.29)$$

Comparando com o ajuste realizado para a reta, tem-se que,

$$c'_1 = \frac{\sum_{k=1}^m \ln(y_k) \sum_{k=1}^m x_k^2 - \sum_{k=1}^m \ln(y_k) x_k \sum_{k=1}^m x_k}{m \sum_{k=1}^m x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2}, \quad (2.30)$$

$$c_2 = \frac{m \sum_{k=1}^m \ln(y_k) x_k - \sum_{k=1}^m x_k \sum_{k=1}^m \ln(y_k)}{m \sum_{k=1}^m x_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m x_k \right)^2}. \quad (2.31)$$

Com tudo, sabe-se que $c_1 = e^{c'_1}$. Então, uma vez obtidos os valores dos coeficientes, pode-se escrever a função exponencial de ajuste como,

$$f^*(x) = e^{c'_1} e^{c_2 x} = e^{c'_1 + c_2 x}. \quad (2.32)$$

2.5.3 Coeficiente de Determinação

A prática tem mostrado que, em muitas situações, a solução das equações normais apresenta erros relativamente grandes. No caso específico do ajuste linear, a qualidade desse ajuste pode ser medido por meio de um coeficiente, chamado de **coeficiente de determinação** (D^2), o qual é dado por,

$$D^2 = 1 - \frac{\sum (Y - Y^*)^2}{\sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{m}} \quad (2.33)$$

onde Y^* corresponde ao valor estimado de Y pela função de ajuste e $0 \leq D \leq 1$, isto é, quanto mais próximo da unidade melhor o ajuste (ROQUE, 2000).

2.6 MÉTODO DE AJUSTE MULTICUADRÁTICO

A base teórica do método de interpolação multicuadrática (MQI) foi desenvolvido por (HARDY, 1971), amplamente aplicado nos estudos da Geofísica, Geografia, Geodésia, entre outros. O método foi aplicado em diversos estudos como na solução das equações de águas rasas proposta por (HON et al., 1999), na pesquisa de (ANDRIOLO, 2006) que utiliza a interpolação quadrática e a interpolação ótima para a análise vazões médias mensais e (GUERRA, 2006) utiliza o MQI para analisar a função não-linear de bases radiais de uma rede neural.

Os modelos de interpolação multicuadrático e interpolação ótima tratam a previsão de

vazões por meio de uma superfície interpolável, sendo que a função de interpolação será adaptada de forma a obter uma superfície em função do tempo, ao invés de uma superfície espacial como no modelo tradicional (ANDRIOLO, 2006).

O problema de interpolação, no seu sentido estrito, pode ser formulado como (GUERRA, 2006):

Dados um conjunto de N pontos diferentes $\{d_i \in \mathbb{R} | i = 1, 2, \dots, N\}$ e um conjunto correspondente de N números reais $\{d_i \in \mathbb{R} | i = 1, 2, \dots, N\}$ encontre uma função $F : \mathbb{R}^N \rightarrow \mathbb{R}^1$ que satisfaça a condição de interpolação: $F(x_i) = d_i, i = 1, 2, \dots, N$.

No ajuste através da função multiquadrática, a influência de cada ponto amostral é representada como função das coordenadas destes pontos. A estimativa para um dado ponto P_0 , com coordenadas (latitude, longitude e altitude) representadas por (x_0, y_0, z_0) é então obtida através da soma das contribuições de todos os pontos (ONS, 2004). Isto é matematicamente representado por (KAVISKI, 1992). Para esta pesquisa, os pontos (y_i, z_i) são as coordenadas da distância entre as verticais e a profundidade do rio na vertical, respectivamente, de uma medição para determinação da vazão do rio.

Então, a ideia do MQI é interpolar uma função desconhecida $f(P)$ onde $P \in \mathbb{R}^n$ em N pontos distintos $P_j \in \mathbb{R}^n$ pela seguinte função de base radial:

$$F(P) \cong \sum_{i=1}^N \alpha_i D_i(P - P_i) \quad (2.34)$$

onde,

$$D_i(P - P_i) = (||P - P_i||^2)^{\frac{1}{2}} \quad (2.35)$$

com $D_i(P - P_i)$ a distância entre os pontos (y_0, z_0) e (y_i, z_i) , $P - P_i$ o vetor entre a observação P_i de coordenadas (y_i, z_i) e outro ponto distinto, α_i são os coeficientes multiquadráticos (pesos) do ponto amostral (y_i, z_i) .

Com isto, tem-se que,

$$D_i(y, z) = \sqrt{(y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (2.36)$$

As derivadas parciais primeiras em relação a y e z são respectivamente,

$$\frac{\partial D_i}{\partial y} = (y - y_i) \cdot D_i(\mathbf{y})^{-1}; \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial D_i}{\partial z} = (z - z_i) \cdot D_i(\mathbf{z})^{-1}; \quad (2.38)$$

Aplicando a equação (2.34) em todos os pontos observados (y_i, z_i) , obtém-se o seguinte sistema de equações lineares,

$$F(y_j, z_j) = \sum_{i=1}^N \alpha_i D_i(y_j, z_j) \quad (2.39)$$

Para N observações em (2.39), tem-se que,

$$F_1 = \alpha_1 D_{11} + \alpha_2 D_{21} + \dots + \alpha_N D_{N1}$$

$$F_2 = \alpha_1 D_{12} + \alpha_2 D_{22} + \dots + \alpha_N D_{N2}$$

$$F_3 = \alpha_1 D_{13} + \alpha_2 D_{23} + \dots + \alpha_N D_{N3}$$

...

...

$$F_N = \alpha_1 D_{1N} + \alpha_2 D_{2N} + \dots + \alpha_N D_{NN} \quad (2.40)$$

Este sistema de equações pode ser expresso como a equação matricial $\mathbf{F} = \mathbf{D}\alpha$ (SINHA, 2002),

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & \cdots & D_{1N} \\ D_{21} & D_{22} & \cdots & D_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ D_{N1} & D_{N2} & \cdots & D_{NN} \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \vdots \\ \alpha_N \end{bmatrix}$$

Assume-se que \mathbf{D} seja não-singular e, portanto, que exista a matriz inversa \mathbf{D}^{-1} , com isto, pode-se determinar os coeficientes do vetor α da equação (2.39) através da equação matricial

$$\alpha = \mathbf{D}^{-1}\mathbf{F} \quad (2.41)$$

onde

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^N \mathbf{D}_{ji}^{-1} \mathbf{F}_j \quad (2.42)$$

Com isto, obtém-se para um ponto inicial (y_0, z_0) ,

$$F_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \mathbf{D}_{ji}^{-1} \mathbf{D}_{0i} \mathbf{F}_j \quad (2.43)$$

Logo, comparando as equações (2.42) e (2.43) os coeficientes amostrais (pesos) resultam,

$$\alpha_i = \sum_{j=1}^N \mathbf{D}_{ji}^{-1} \mathbf{D}_{0i}. \quad (2.44)$$

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 A Estrutura do LDM

O projeto do *hardware*¹ referente ao **LDM** foi desenvolvido de acordo com os requisitos de *software*², pois é a base onde ele será executado. Inicialmente, foi feita uma seleção de componentes eletrônicos, levando em consideração a função e o custo de cada um. Essa seleção de componentes foi realizada de acordo com necessidades específicas, tais como componentes operacionais para realizar ganhos de tensão, circuitos integrados diversos, *display*, teclado, dentre outros. Para realizar a interligação entre esses componentes e constituir-se em um circuito eletrônico, foi necessário realizar consultas aos *datasheets*³ dos fabricantes, os quais forneceram as informações e especificações sobre os componentes. Tais *datasheets* estão disponíveis no próprio site de cada fabricante.

3.1.1 Montagem na Veroboard

Stripboard ou *Veroboard* é uma placa universal para montagens de circuitos eletrônicos e amplamente utilizada para desenvolvimento de protótipos. Com ela, pode-se comprovar a eficiência do circuito sem precisar da solda dos componentes eletrônicos e sem a necessidade de imprimir a placa de circuito impresso.

O nome comercial *veroboard* tem origem no nome da empresa do Reino Unido, a *Vero Technologies Ltd.* em parceria com a empresa canadense *Pixel Print Ltd.*

Ela é composta por uma grade de furos regulares distanciados em torno de 2,54mm, revestida na parte inferior com grandes faixas paralelas de cobre. Ao usar a placa, as ligações são feitas nas faixas, geralmente em torno de buracos, para dividir as tiras em vários nós elétricos.

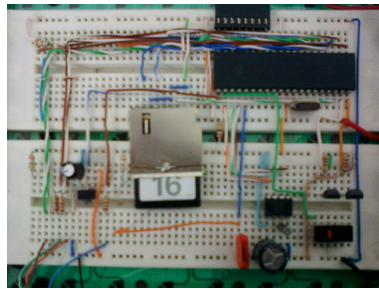
O primeiro protótipo do LDM foi testado numa *veroboard* e o resultado do comportamento dos componentes eletrônicos e do microcontrolador foi como o previsto no simulado do projeto eletrônico (figura 16).

¹Parte física do LDM.

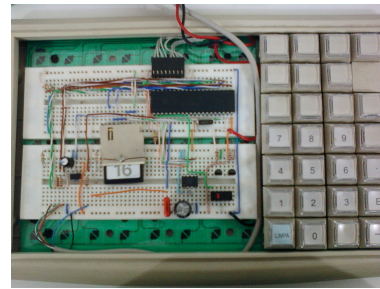
²Parte da linguagem de programação.

³Documento contendo os Dados Específicos de cada Componente.

A veroboard foi de grande auxílio na montagem final do LDM na placa de circuito impresso, pois alguns componentes eram mais atuais que os próprios *datasheets* encontrados nos *sites* dos fabricantes, dificultando o bom funcionamento do equipamento. Um exemplo foi o ocorrido com o display LCD modelo ACM1602 que indicava que no pino 3 era V_{CC} e na verdade na atualização do hardware ele é V_{DD} .

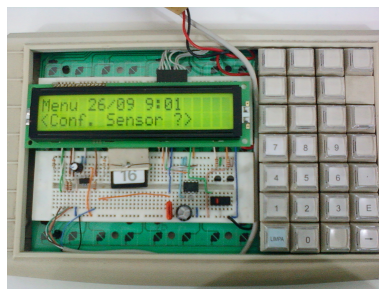


(a) Circuito Eletrônico

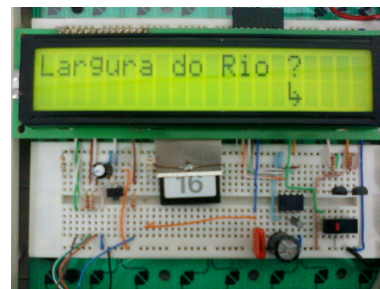


(b) Protótipo sem o Display

Figura 14: Protótipo do LDM numa Placa Veroboard - Visão Interna



(a) Teste do LDM



(b) Teste do Software

Figura 15: Teste do LDM numa Placa Veroboard

3.1.2 Os Componentes Eletrônicos

3.1.2.1 Relação dos Componentes

Tabela 4: Relação dos Componentes Eletrônicos

Componente	Quant.	Referência	Valor	Custo
Resistores	01	R1	100k	R\$ 4,00
	02	R2 / R3	4.7K	
	01	R4	100k	
	01	R5	220	
	01	R6	6.8k	
	01	R7	370	
	01	R8 / R9	1k	
Capacitores	02	C1 / C2	100u	R\$ 1,30
	02	C5 / C6	1nF	
	04	C8 a C11	100uF	
C. Integrados	01	U1	PIC18F452	R\$ 16,35
	01	U2	DS1302	R\$ 8,00
	02	U3 / U4	DS18B20	R\$ 10,00
	01	U5	CD4010	R\$ 2,96
	01	U6	LM317EMP	R\$ 3,00
Transistor	01	Q1	BC548	R\$ 0,11
Diversos	01	J1	RS-232	R\$ 0,20
	01	J2	PACK NICD	R\$ 5,30
	01	J3		R\$ 12,00
	01	LCD	16x2 BACKL	R\$ 19,40
	01	SDCMF	10915	R\$ 18,30
	02	X1 / X2	CRYSTAL	R\$ 0,92
	01	LS1	SONDER	R\$ 19,40
	02	B159	4mm	R\$ 8,00
	01	180G	1x40	R\$ 0,76
			Outros	R\$ 5,00
	01	CX	3x12x15	R\$ 12,00
			Total	R\$ 149,96

Alguns componentes que fazem parte do projeto são: *DS 1302* - relógio programável, *DS 18B20* - termômetro programável, o cartão *SD/MMC* para gravar os dados, teclado *4X4* (16 teclas), *display* LCD 16x2, isto é, 16 colunas por 2 linhas para visualização de parâmetros, uma bateria 4,8 V 1200 mA NiCad (entre outros relacionados na tabela 4 acima).

O custo total do equipamento efetivamente ficou abaixo do esperado. Estimava-se que, ao término do projeto, o equipamento custasse em torno de R\$ 250,00, com isso, conseguiu-se um equipamento 60% mais barato. Esse fato se deu pela grande variedade de componentes eletrônicos existentes no mercado, fazendo com que seus preços ficassem mais acessíveis.

3.1.3 Microcontrolador PIC18F452

O microcontrolador selecionado para o **LDM** foi PIC18F452. Como comentado na seção (2.4, p. 34) e apresentado na tabela (3, p. 34), o microcontrolador **PIC18F452** possui 32 *Kb* de memória *Flash*, velocidade de DC 40 *Mhz* e velocidade da CPU de 10 *MIPS*⁴ (execução de instruções em 100 nanosegundos), 1536 *bytes* memória RAM - Random Access Memory, 16384 *b* de memória de programa (Instruções), 256 *bytes* de memória de dados EEPROM (MICROCHIP, 2006).

Os principais periféricos internos são: 8 canais para conversão *A/D* a 10 *bits*, *AUSART* - addressable universal synchronous asynchronous receiver transmitter, transmissor receptor de endereçamento universal síncrono e assíncrono - com suporte para *RS485*; *MSSP* - master synchronous serial port, porta serial mestre) para *SPI* e *I2C*; *PSP* - parallel slave port, porta paralela - e 4 timers (3 de 16 *bits* e um de 8 *bits*).

Os microcontroladores modelos PICs podem ser programados em linguagem mnemônica (assembly) ou usando-se compiladores de linguagem de programação (Pascal, C, Basic, Fortran, etc) que geram um código em formato hexadecimal (intel hex format ou linguagem de máquina) que são usados para serem gravados na memória de programa desses microcontroladores. Para tal procedimento, utiliza-se um gravador apropriado, acoplado a um computador com sistema operacional *Linux* ou *Windows*®. PICs com memória flash são altamente flexíveis na fase de desenvolvimento, pois permitem uma rápida alteração do código de programa e sua posterior gravação e teste.

A frequência de operação do sistema, ou seja, a quantidade de instruções de códigos que serão executadas em um segundo são definidas pelo conjunto de componentes **X1** e os capacitores **C5** e **C6** (figura 16, p. 49). Segundo o *datasheet*, os valores dos capacitores de **C5** e **C6** para um cristal **X1** de 4 *Mhz*, poderá ser entre 15

F e 33

F. Logo, foram selecionados capacitores de 33

F por serem comercialmente disponíveis.

3.1.4 Placa de Circuito Impresso - PCI

A placa de circuito impresso (PCI) consiste de uma placa de fenolite, fibra de vidro, fibra de poliéster, filme de poliéster, filmes específicos à base de diversos polímeros, etc, que possuem a superfície coberta numa ou nas duas faces por fina película de cobre, prata, ou ligas à base de ouro, níquel entre outras, nas quais são desenhadas pistas condutoras que representam o circuito

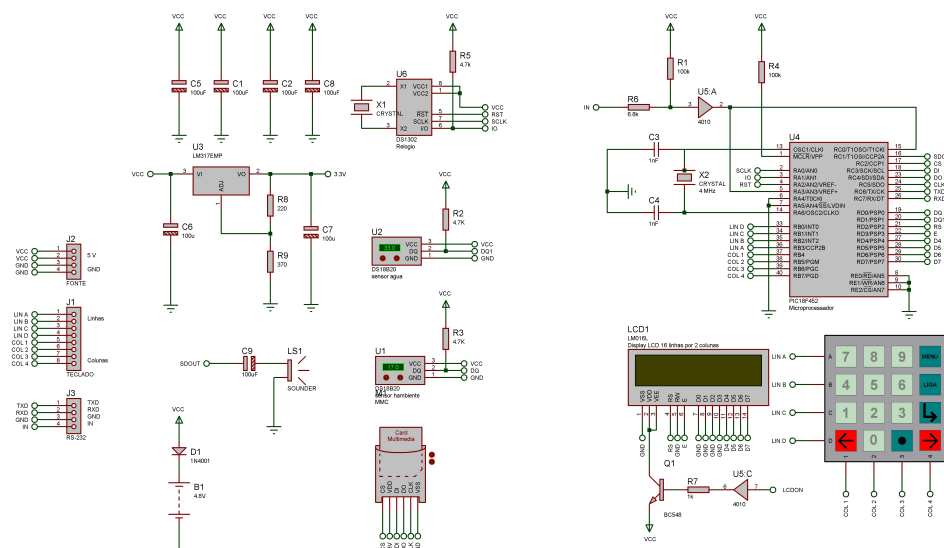
⁴MIPs - Milhões de instruções por segundo.

onde serão fixados os componentes eletrônicos.

A placa de circuito impresso, será aquela em que estará presente o microcontrolador, componente principal de equipamento. A figura 16 mostra o esquema da placa. O esquema foi projetado no programa *Proteus Professional*® da *Labcenter Eletronics*®, na responsabilidade do acadêmico de engenharia elétrica Marcelo Ribeiro Salmon.

O software de desenho e simulação *Proteus VSM* é uma ferramenta útil para estudantes e profissionais que desejam acelerar e melhorar suas habilidades para do desenvolvimento de aplicações analógicas e digitais. Ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos. O *software* é composto de duas ferramentas: o *Isis* e o *Ares*. O *Isis* tem a função de criar esquemas elétricos além de também permitir com que façamos simulações destes esquemas neste próprio ambiente. Já o ambiente *Ares* permite que possamos criar *layouts* de circuitos impressos (SOUZA, 2011).

A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficas que representam os sinais obtidos na simulação. Outro fator importante na utilização do *Proteus* é a capacidade de simular adequadamente o funcionamento dos microcontroladores mais populares tais como, PICs, Atmel-Avr, Motorola, 8051, etc.



PROJETO LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETE HIDROMÉTRICO	
<p>Filename: MOLINETE.DNS</p> <p>Desing by: Marcelo Ribeiro Salmon</p> <p>Date: 18/01/2013 - Time: 9:11pm</p>	<p>PROJETO DE TESE DE DOUTORADO DE MARCOS FREITAS DE MORAES</p> <p>Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia</p> <p>UFPR - Orientadora: Profa Drª Liliana Madalena Gramani</p>

Figura 16: Esquema do Circuito Eletrônico

A figura 17 abaixo mostra um dos lados da placa de circuito impresso:

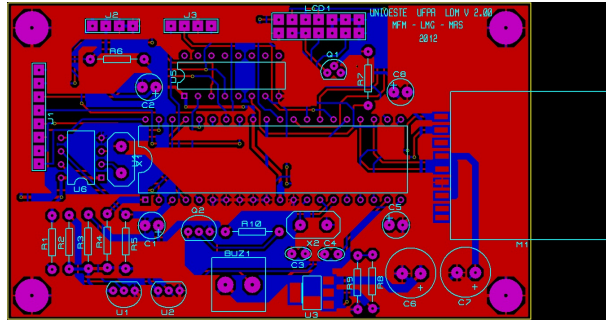
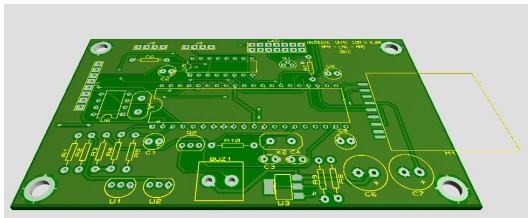
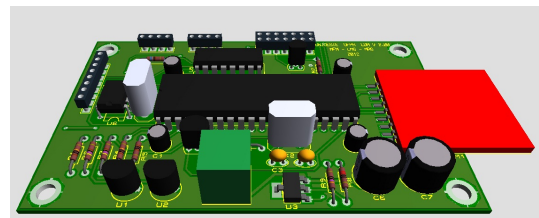


Figura 17: Placa de Circuito Impresso

A figura 18(b) apresenta a placa com seus devidos componentes numa visão 3D:



(a) Sem os Componentes

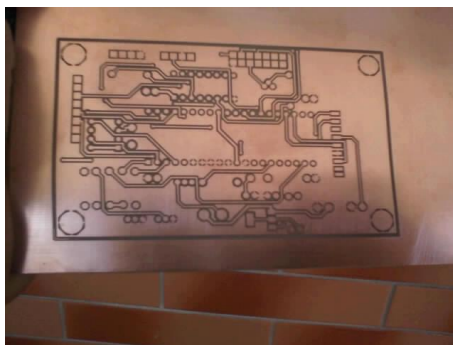


(b) Com os Componentes

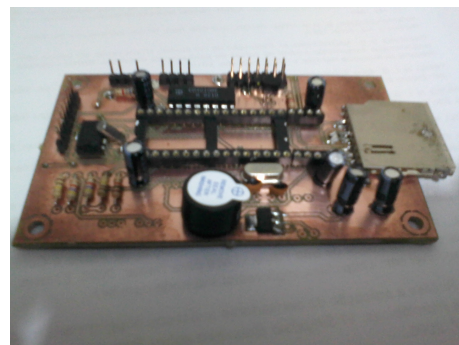
Figura 18: Placa de Circuito Impresso em 3D

3.2 Montagem do LDM

A placa de circuito impresso do LDM foi impressa na prototipadora da **UTFPr** - Universidade Tecnológica Federal do Paraná do campus de Toledo - Paraná, aos cuidados da **COELE** - Coordenação do Curso Superior de Engenharia Eletrônica.



(a) Pci sem furos



(b) Pci com os Componentes

Figura 19: Placa de Circuito Impresso do LDM

Com a PCI pronta e seus componentes instalados, iniciou-se a parte de checagem dos contatos entre as trilhas (figura 20) dos pinos do microcontrolador para os outros componentes. Os pinos 3, 4, 11, 19 e 32 apresentaram falhas nas trilhas, mas todas facilmente resolvidas.



Figura 20: Checagem das Trilhas

A etapa seguinte foi efetuar a gravação no microcontrolador e analisar os primeiros resultados do programa. Nesta etapa, notou-se a dificuldade com o teclado, situação relatada na seção (1.4, p. 6). Quando pressionava-se uma tecla, a mesma repetia o “caractere” várias vezes. A solução foi programar um determinado tempo após a tecla ter sido pressionada, com isto, o contato tinha um “*delay*”⁵ tirando a repetição dos caracteres. O tempo estimado foi de 700 *ms*. O *layout* do teclado adquirido não foi o ideal, mas como se desejava um teclado de membrana para proteger contra a umidade as próprias teclas e a parte interna do LDM, o modelo escolhido cumpriu bem o seu papel.

Depois de corrigidas as falhas de programação, foram efetuados os últimos testes no LDM e constatou-se que seu funcionamento estava correto e pronto para ser montado em sua caixa (figuras 21(a), 21(b)).

⁵Atraso ou retardo de sinais em circuitos eletrônicos.



(a) Marcações de cortes e colagem



(b) Acabamento Final

Figura 21: Placa de Circuito Impresso do LDM

A figura 22(a) apresenta o *layout* final do LDM, enquanto que a figura 22(b) mostra uma comparação de tamanho entre o contador de pulso e o LDM.



(a) Layout do LDM



(b) Contador de Pulso e o LDM

Figura 22: Placa de Circuito Impresso do LDM

3.3 Programação do Microcontrolador PIC18F452

A linguagem selecionada para a programação do microcontrolador foi o “**PicBasic**” através do software *Proton Basic Compiler*⁶.

O *software* utilizado para a gravação no microcontrolador foi o *Icprog*, um *software* livre para programar microcontroladores como os *Pic*, compatível com diversos gravadores disponíveis gratuitamente na internet. O *Icprog* como todo bom *software* gratuito está disponível em diversos idiomas, incluindo o português.

O programa escrito usa 28.678 bytes (29 *Kb*) dos 32 *Kb* disponíveis no microcontrolador com 1.222 bytes (1 *Kb*) usados pelas variáveis do programa.

⁶©Rosetta Technologies/Crownhill Associates Ltd.

A seguir são descritas algumas rotinas importantes da programação:

- ◊ Nas rotinas iniciais do programa, define-se o microcontrolador pelo comando *Device = 18F452*, o oscilador cristal de 4 *Mhz* pelo comando *Xtal = 4*, declara que todas as portas são digitais *All_Digital = True*, a ativação do *Pull-Up* interno através do comando *PortB_pullups = True*, efetua-se a configuração das portas *RS232* (serial) e *LCD* (figura 23).

```
molinetev3
53 Xtal = 4
54 Optimiser_Level = 3
55 All_Digital = TRUE
56 PortB_Pullups = true
57
58 On_Hardware_Interrupt GoTo TIMER0
59
60 'Configura ports RS232
61
62 Hserial_Baud = 4800
63 Hserial_RCSTA = %10010000
64 Hserial_TXSTA = %00100000
65
66 'LCD
67
68 Declare LCD_DTPin PORTD.4
69 Declare LCD_RSPin PORTD.2
70 Declare LCD_ENPin PORTD.3
71
72 'RTC PINOS
73
74 Symbol CLK = PORTA.0
75 Symbol DTA = PORTA.1
76 Symbol RST = PORTA.2
77
```

Figura 23: Rotinas Iniciais do Programa

- ◊ As figuras 24(a) e 24(b) apresentam as definições das variáveis dos *Timers* 0 e 1 e a inclusão da biblioteca com as rotinas pré-definidas pelo compilador.

```
molinetev3
85 'SENSOR DE TEMP
86
87 Symbol DQ = PORTD.0 'Place the DS1820 on bit 1 of PORTA
88
89 ' Variaveis do timer0
90
91 Symbol TOPS0 = TOCON.0 ' Timer0 Prescaler Select bit
92 Symbol TOPS1 = TOCON.1 ' Timer0 Prescaler Select bit
93 Symbol TOPS2 = TOCON.2 ' Timer0 Prescaler Select bit
94 Symbol FSB = TOCON.3 ' Timer0 Prescaler Assignment bit
95 Symbol TOSE = TOCON.4 ' Timer0 Source Edge Select bit
96 Symbol TOCS = TOCON.5 ' Timer0 Clock Source Select bit
97 Symbol TOBR1 = TOCON.6 ' Timer0 8-bit/16-bit Control bit
98 Symbol TMR0ON = TOCON.7 ' Timer0 On/Off Control bit
99
100 Symbol RBIF = INTCON.0 ' RB Port Interrupt Flag
101 Symbol INT0IF = INTCON.1 ' INT0 External Interrupt Flag
102 Symbol TMR0IF = INTCON.2 ' TMR0 Overflow Interrupt Flag
103 Symbol RBIE = INTCON.3 ' RB Port Change Interrupt Enable
104 Symbol INT0IE = INTCON.4 ' INT0 External Interrupt Enable
105 Symbol TOIE = INTCON.5 ' TMR0 Overflow Interrupt Enable
106 Symbol PEIE = INTCON.6 ' Peripheral Interrupt Enable
107 Symbol GIEL = INTCON.6 ' Low priority peripheral interrupt
108 Symbol GIE = INTCON.7 ' Global Interrupts Enable
109 Symbol GIEH = INTCON.7 ' Enable all high priority interrupts
110
```

(a) Variáveis do *Timer* 0

```
molinetev3
109 Symbol GIEH = INTCON.7 ' Enable all high priority interrupts
110
111 ' Variaveis Timer1
112
113 Symbol TMR1ON = T1CON.0 ' Timer1 ON
114 Symbol TMR1CS = T1CON.1 ' Timer1 Clock Source Select
115 Symbol NOT_T1SYNC = T1CON.2 ' Timer1 External Clock Input Synchronizati
116 Symbol T1OSCEN = T1CON.3 ' Timer1 Oscillator Enable Control
117 Symbol T1CKPS0 = T1CON.4 ' Timer1 Input Clock Prescale Select bits
118 Symbol T1CKPS1 = T1CON.5 ' Timer1 Input Clock Prescale Select bits
119 Symbol RD16 = T1CON.7 ' 16-bit Read/Write Mode Enable bit
120 Symbol TMR1IF = PIR1.0 ' TMR1 Overflow Interrupt Flag bit
121 Symbol TMR1HIGH = TMR1H
122 Symbol TMR1LOW = TMR1L.Word
123
124
125 'BIBLIOTECA MOLINETE
126
127 Include "molinetev3_lib.pbp"
128
```

(b) Variáveis do *Timer* 1

Figura 24: *Timers* e Biblioteca

- ◊ A figura 25 apresenta o procedimento mais importante da programação. A função *MAIN* efetua a contagem dos pulsos através da variável *tempo* que recebe o resultado do símbolo *TMR1LOW* e calcula a frequência pela divisão da variável *tempo* pela variável *tm* (conta os segundos). A função confere se a frequência é maior que o valor armazenado na variável *n* (rotações por segundo da equação do molinete), caso contrário, calcula a velocidade utili-


```

molinetev3
1599 '-----
1600 'Calculo da Vazao na vertical
1601
1602 Calcula_V:
1603
1604 V=Ai*velm
1605
1606 Return
1607
1608 '-----
1609 'Totalizador
1610
1611 Totaliza:
1612
1613 AiT = AiT + Ai      'Area total
1614 Vt = Vt + V        'Vazao total
1615 VelmT=Vt/AiT
1616
1617 Return

```

Figura 27: Funções do Cálculo da Vazão e Totalização

3.4 Funcionamento do LDM

O procedimento de usar o molinete hidrométrico juntamente com contador de pulso para a medição de fluxos em uma vertical, para exemplificar toda a morosidade e todo o trabalho realizado, deve seguir os seguintes passos:

- ◇ Após a escolha da seção transversal onde será feito o monitoramento da vazão, mede-se a largura do rio e, de acordo com a tabela (1, p. 26), define-se qual a distância entre as verticais e quantas são as verticais. Estica-se uma corda guia, contendo as divisões das verticais.
- ◇ Desloca-se o molinete até a 1ª vertical seguindo a marcação da corda guia. Define-se, neste ponto, a profundidade, ou pela haste a vau ou pelo cabo do guincho.
- ◇ Depois que se define a profundidade da vertical (seção 2.3, p. 23) e “calcula-se manualmente” quantos e quais pontos de leitura terá esta vertical (tabela 2, p. 27), desce o molinete até a primeira posição de leitura.
- ◇ Define o tempo de leitura no contador, normalmente 40 ou 50 segundos (BACK, 2006) e aperta o botão de “Iniciar” no contador.
- ◇ Após o tempo determinado, soa um “bip” no contador avisando que o tempo esgotou e anota-se em uma planilha o número de giros. Neste momento, já pode ocorrer o primeiro erro de medição: de acordo com o modelo do contador os pulsos continuam a ser contados mesmo após o sinal sonoro, caso haja um desvio de atenção ou outro motivo, o número de pulsos pode ser anotado incorretamente. Se achar necessário uma nova medição, repete-se o processo no mesmo ponto.
- ◇ O procedimento deve ser repetido esse processo para todos os pontos da vertical, anotando o número de giros em cada posição.
- ◇ Este processo é repetido também em todas as verticais definidas através da largura do rio.
- ◇ De posse da planilha preenchida, “antigamente” já se calculava a velocidade de cada vertical na planilha utilizando a equação do molinete (equação 2.9, p. 30) e as áreas da seção; “atualmente” retorna ao laboratório e utiliza uma planilha eletrônica (MS-Excel) onde digita-se os valores coletados e a planilha eletrônica calcula as velocidades pontuais e médias de cada vertical, suas respectivas áreas da seção, e, ao final, obtém-se a vazão de cada seção e a vazão total.

O princípio do LDM é agilizar todo o processo descrito anteriormente com uma maior precisão na coleta dos dados, diminuindo os erros e as incertezas.

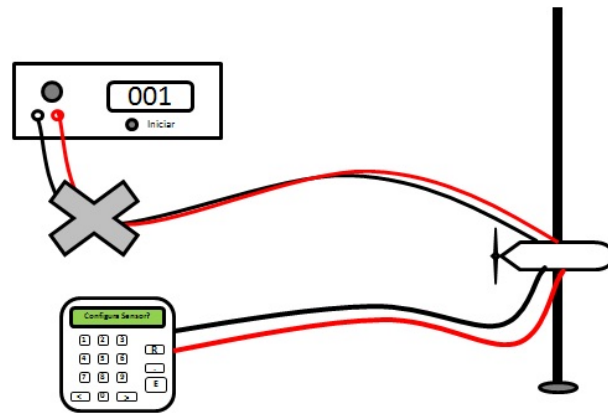


Figura 28: LDM em substituição ao contador de pulsos

O LDM funcionará da seguinte forma:

- ◊ Na tela de abertura, o LDM testa se o cartão está inserido, se sim, efetua a abertura do arquivo no cartão (figuras 29(a) e 29(b)).



(a)

(b)

Figura 29: Telas de abertura

- ◊ O LDM inicia seu procedimento solicitando os dados das equações do molinete ao usuário e em seguida inicia o processo de medição (figuras 30(a) e 30(b)).

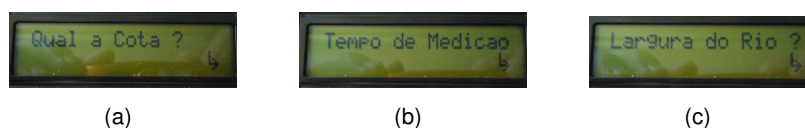


(a)

(b)

Figura 30: Configuração do sensor e início da medição

- ◊ Em seguida, solicita-se a cota, o tempo de medição e a largura do rio (figuras 31(a), 31(b) e 31(c)).



(a)

(b)

(c)

Figura 31: Cota, tempo de medição e largura do rio

- ◊ Em alguns casos, de acordo com as condições da seção do rio, é necessário recuar as margens, isto é, diminuir a largura do rio para um ponto correto de início da medição. Caso

contrário, o LDM mostrará as distâncias entre as verticais e o número de pontos de acordo com a tabela (1, p. 26) (figuras 32(a), 32(b) e 32(c)).

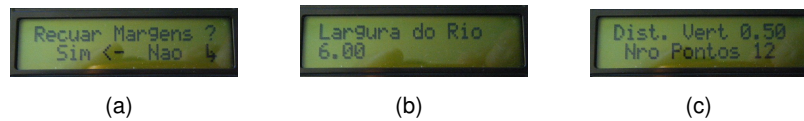


Figura 32: Recuo das margens e cálculo das verticais

- ◇ O LDM indica a primeira posição e aguarda o posicionamento do molinete. Posicionado o molinete, o LDM solicita a profundidade na vertical. Após inserir a profundidade, o equipamento indica a primeira posição de profundidade de acordo com a tabela (2, p. 27) (figuras 33(a), 33(b), 33(c) e 33(d)).



Figura 33: Cálculo das profundidades na vertical

- ◇ O LDM aguarda o posicionamento, feito isso, aciona-se a tecla Enter (↵) e se inicia a medição. Pode-se aguardar o tempo estimado no início do processo ou interromper com a tecla *Enter* a qualquer momento. Este processo se repete até o último ponto da vertical.
- ◇ Terminado a leitura de todos os pontos da vertical, o LDM apresenta rapidamente a velocidade média na vertical e envia para o cartão de memória uma linha de informações para serem gravadas da seguinte forma: número da vertical, distância da vertical, profundidade, as devidas posições, as devidas velocidades nas respectivas posições, área da seção, vazão na seção, velocidade média, data, hora e a temperatura ambiente. Em seguida, apresenta a nova vertical para o posicionamento do molinete (figuras 34(a) e 34(b)).



Figura 34: Cálculo da velocidade pontual e média

- ◇ Repete-se esse processo até a última vertical, ao final o equipamento apresenta no seu *display* os resultados: Área Total da seção, Velocidade Média da seção e a Vazão Total. Todos os dados são gravados no arquivo "MOLINETE.TXT" (figuras 35(a), 35(b), 35(c) e 35(d)).



Figura 35: Finalizando a medição

O fluxograma mostrado na figura 36 apresenta um resumo do funcionamento do LDM:

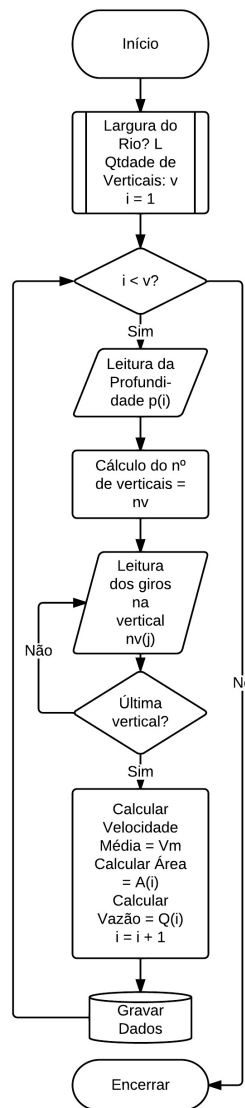


Figura 36: Fluxograma Resumido do LDM

Com os dados gravados no cartão de memória, o usuário pode observar-los por meio da “home page” (HP) criada exclusivamente para a visualização dos dados coletados do LDM. Cada abertura de arquivo de um determinado rio na HP, atualiza (ou cria, caso a primeira vez) outro arquivo texto contendo somente as informações: local da coleta, data da coleta, cota e vazão. Os dados desse arquivo servirão para a segunda parte da HP, a qual, pelo método numérico de aproximação dos mínimos quadrados, determina os coeficientes da regressão linear, exponencial e quadrática, fazendo com que assim seja traçada a “Curva-Chave” do rio, para utilização como base para informações futuras.

3.5 A Home Page do LDM

Para o desenvolvimento da *home page*, que manipulará os dados coletados pelo LDM, foram utilizados três programas de domínio público, isto é, livre para *download*⁷ e utilização; são eles: o *NetBeans 7.1.2* para o desenvolvimento em HTML e PHP, disponível no site <http://www.netbeans.org/>; o *Xampp Control Panel 2.5* que é um simulador de servidor independente Apache e interpretador para linguagens de script: PHP e Perl, disponível em <http://www.apachefriends.org/>; e por último o *Page Beeze Html Editor 4.0* para edição em HTML, disponível em <http://www.pagebeeze.com>.

A *home page* é composta por uma página inicial ou abertura, na qual pesquisador coloca os dados do local da coleta, seu nome e fará um *upload*⁸ do arquivo gravado no cartão de memória SD/MMC utilizado no LDM.

A figura 37 apresenta a tela inicial da *home page*.

The screenshot shows a web browser window with the address bar displaying 'localhost/marcos/index.php'. The page features the following elements:

- Logos:** 'unioeste' on the left and 'UFPR' (Universidade Federal do Paraná) on the right.
- Page Title:** 'Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos'.
- Subtitle:** 'LDM' and 'Visualização dos Dados Coletados'.
- Text:** 'Esta página faz parte da Tese de Doutorado de Marcos Freitas de Moraes'.
- Program Details:** 'PPGMNE - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR - Curitiba - Pr' and 'Orientadora Prof. Drª Liliana Madalena Gramani 2010-2013'.
- Form Fields:** 'Local da Coleta:' and 'Pesquisador.....'.
- Buttons:** 'Escolher arquivo', 'Nenhum arquivo selecionado', and 'Enviar'.
- Footer:** 'Apoio:' with logos for 'PARANÁ GOVERNO DO ESTADO' and 'FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA', and 'Agradecimentos Especiais:' listing 'Marcelo Ribeiro Salmon', 'COELE', and 'Thiago Auler'.

Figura 37: Tela de Abertura da *Home Page* do LDM

Após o *upload* realizado, abre-se uma segunda janela no navegador (figura 38) com a apresentação de todos os dados coletados devidamente organizados, com os seus totais, apresen-

⁷Transferência de dados de um computador remoto para um computador local.

⁸Transferência de dados de um computador local para outro computador ou para um servidor.

tação a área total, vazão total e a velocidade média em todas as seções.

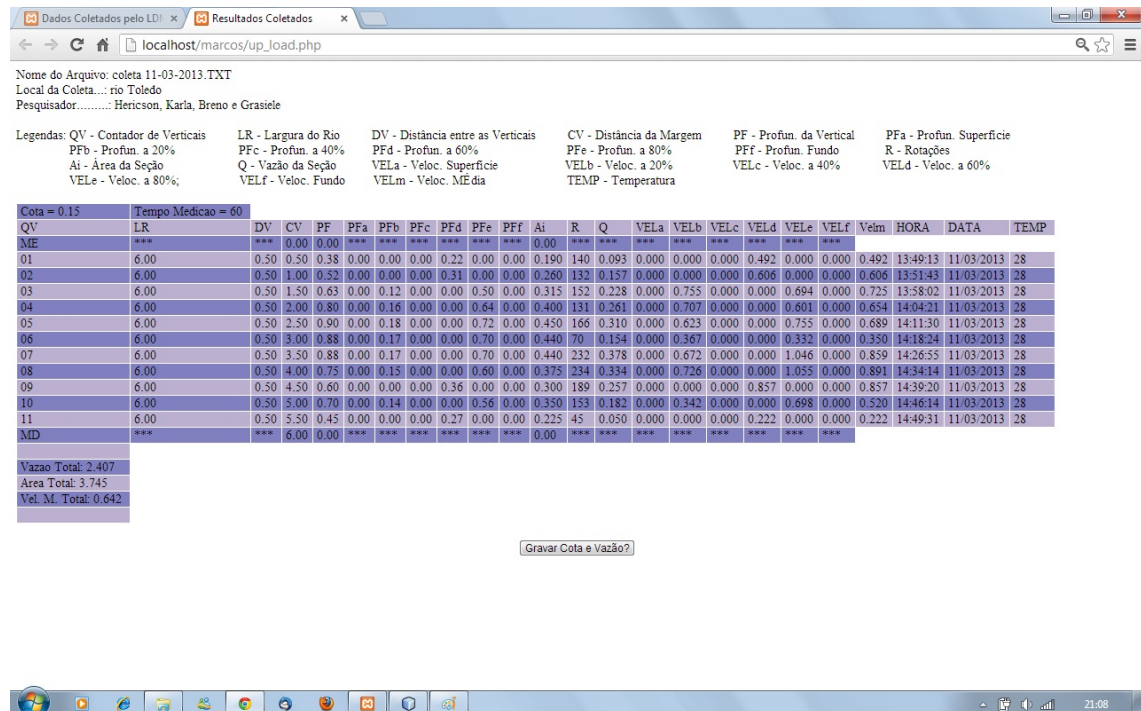


Figura 38: Tela da Janela dos Dados Coletados pelo LDM

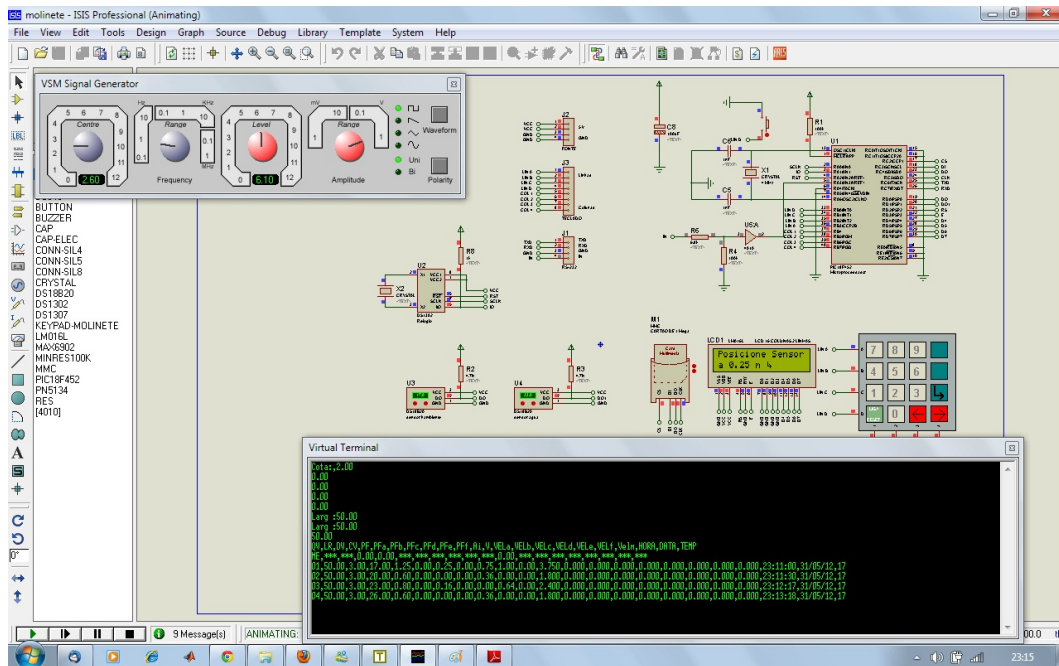
No rodapé da página, existe um botão para que o usuário possa gravar os dados da **cota** e da **vazão** em outro arquivo de texto, chamado de “**dados_curvachave_local.TXT**”. Esse arquivo terá em seu conteúdo, todas as cotas e vazão de um determinado local de coleta e a qualquer momento pode ser manipulado pela outra *home page* para a determinação da curva chave.

3.6 Etapas de Verificação do Funcionamento do LDM

Para verificação do funcionamento do LDM, foram realizadas cinco etapas de ensaios:

1ª. Etapa: Em laboratório, foram simuladas várias rotações em diversos tempos para verificar se o cálculo da frequência no programa do microcontrolador estava correto.

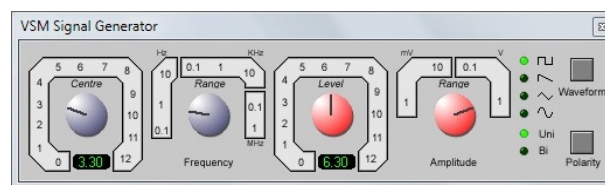
Foram estabelecidos através do projeto eletrônico elaborado no programa Proteus® (seção 3.1.4) e obtidos executando seu simulador com mostra a figura (39) abaixo.



Fonte: Autor

Figura 39: O LDM simulado no Proteus[©]

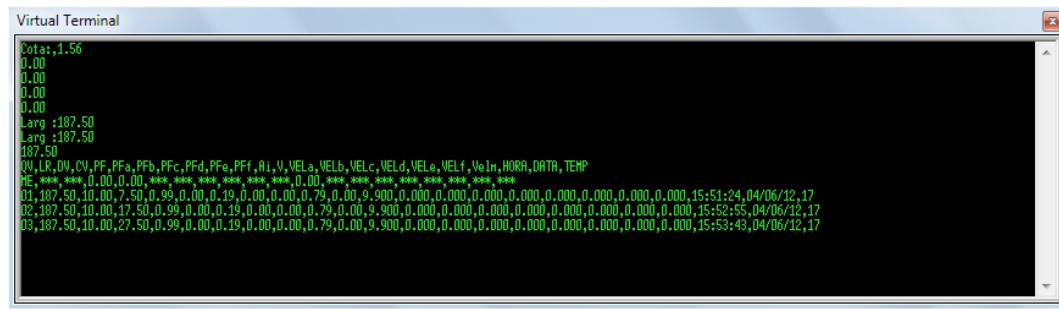
A frequência necessária para o LDM calcular a velocidade na devida vertical, isto é, a simulação da hélice girando dentro do rio era estipulada no painel “VSM Signal Generator” (figura 40), usando o botão de controle “Centre”.



Fonte: Autor

Figura 40: Painel para o Controle da Frequência

Os dados foram visualizados através do *Virtual Terminal* (figura 41), conferindo se eram gravados corretamente no arquivo “MOLINETE.TXT”.



Fonte: Autor

Figura 41: Painel para Visualizar os Dados

Foram efetuadas duas comparações. A primeira com os dados coletados por Angst (2008) no rio Piquiri utilizando o molinete modelo *MLN* – 7, hélice modelo *JC* – 017/06 e equações do molinete iguais a

$$V = 0,01641847 + 0,25366065.N, \text{ para } N < 0,5051$$

$$V = 0,00233053 + 0,28154932.N, \text{ para } N > 0,5051$$

onde N é a frequência de giros da hélice. O tempo de medição selecionado foi de 40s para cada posição na vertical.

2ª. Etapa: Simulação em laboratório utilizando o *software* *PROTEUS* com os dados coletados por Angst (2008) (Rio Piquiri) e Prof. Adir Otto Schmidt⁹ (Rio Toledo).

O molinete usado foi o modelo *MLN* – 07 com a hélice modelo *JC* – 032/07 e equações iguais a:

$$V = 0,23157552.N + 0,02642493, \text{ para } N < 0,87$$

$$V = 0,29080984.N - 0,00873542, \text{ para } N > 0,87$$

e tempo de medição de 30s para cada posição na vertical. Foram efetuadas duas repetições para cada posição, calculando a média entre os pulsos.

3ª. Etapa: Esse ensaio foi realizado num local adaptado exclusivamente para manter o molinete modelo *MLN-7*, hélice modelo 91.01.10 em velocidade constante.

Um jato de água era diretamente aplicada à hélice mantendo-a sempre em velocidade constante para proporcionar o máximo possível de regularidade no giro da hélice. Foram definidas 4 tipos de velocidades para medir a variação na leitura dos pulsos, tanto no contador quanto no

⁹Pesquisador e doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - UNIOESTE - campus Cascavel

LDM. Os tempos selecionados foram 10s e 30s para uma velocidade média de $1,13m/s$; 30s para uma velocidade média de $0,79m/s$; 50s para uma velocidade média de $1,18m/s$ e 70s para uma velocidade de $0,40m/s$, e do LDM para os seguintes tempos: 10s, 30s, 50s e 70s. Essa verificação foi necessária para avaliar se os sinais estavam sendo contados corretamente pelo LDM.

4ª. Etapa: Ensaios em campo para comparar os resultados das velocidade, pulsos e vazão entre os molinetes das empresas *JCTM* e *Hidromec*, coletados pelos contadores de pulsos e pelo LDM.

Estabelecer, analisar e comprovar a correlação entre os dados coletados pelo LDM e pelo contador de pulsos significa demonstrar a verdadeira eficiência que se busca com a criação do LDM. Se os dados estiverem correlatos, o LDM, além de substituir o contador, também produzirá uma coleta de dados mais rápida, segura e com maior precisão. Os rios selecionados para os testes foram: o Arroio do “Pocinho” em Guarapuava/Pr e o rio Toledo em Toledo/Pr.

Foram efetuados seis (05) ensaios de verificação de descarga líquida nos rios: três (03) no rio Toledo (coordenadas geográficas latitude $24^{\circ}45'15'' S$ e longitude $53^{\circ}46'35'' W$ Toledo/Pr, figura 42(a)) e dois (02) no arroio do Pocinho (ou arroio Pocinho) (latitude $25^{\circ}24'05'' S$ e longitude $51^{\circ}28'34'' W$ Guarapuava/Pr, figura 42(b)) para verificação das leituras dos pulsos entre o LDM e o contador.



(a) Rio Toledo



(b) Arroio do Pocinho

Figura 42: Locais dos Ensaios com o LDM - Fonte: Google Earth

Foram utilizados dois tipos de molinetes: o modelo *MLN-7* da empresa *JTCM Ltda.* e o modelo Newton da empresa *Hidromec*.

5ª. Etapa: Comparação entre os dados coletados pelo LDM e os medidores de vazão (ADCP) modelos *M9* e *S5* no canal da piracema da Itaipu Binacional.

O ensaio de comparação do LDM com os equipamentos ADCP *RS – M9* e *S5* foi realizado no dia 23/04/2013 no canal da piracema da Itaipu Binacional. O canal possui uma largura de $7m$ e a cota no dia era de $1,90m$.

Como já comentado no capítulo (2, p. 9), comparar um equipamento ADCP e o molinete hidrométrico é, imaginar um conjunto infinito de molinetes colocados em uma vertical da seção de medição (ANA, 2009b), mas a necessidade deste ensaio se deu pelo fato de que o LDM também apresenta a velocidade pontual instantânea, com isto, se pode verificar a real leitura que o LDM faz em cada ponto na vertical e na média das verticais.

Foi utilizado o equipamento *RS – M9* com método “ScbSc” para a comparação da velocidade média em cada vertical.

O LDM fez três (03) medições de profundidade em cada vertical (20% = $0,38m$; 60% = $1,15m$ e 80% = $1,52m$). Todas as comparações efetuadas entre as velocidades médias e vazões coletadas, contra os dados gerados pelo LDM, foram tratadas estatisticamente no programa *Statgraphics*, aplicando os testes t verificar a hipótese de igualdade entre as médias das velocidades e vazão e o F para verificar a hipótese de igualdade entre os desvios padrões.

3.7 Determinação da Vazão aplicando o Ajuste Multiquadrático e a Interpolação Spline Cúbica

O método descrito na seção 2.6 foi adaptado para prever a medição da vazão do Rio Toledo. O rio possui uma largura de $6m$ e a cota no dia era de $0,15m$.

O objetivo é estimar a vazão na seção em função de $v(y, z)$, isto é, estimar

$$F(y_i, z_i) = v_i(y_i, z_i)$$

$$V(y_i, z_i) = \sum_{i=1}^N \alpha_i v(y_i, z_i) \quad (3.1)$$

ou,

$$V(y_i, z_i) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \sqrt{(y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (3.2)$$

onde y_i é a distância entre as verticais, z_i a profundidade na vertical (i) a $0,6p(i)$ e $p(i)$ é a profun-

didade na vertical (i) e α_i os pesos.

A tabela 5 abaixo, apresenta os dados coletados:

Tabela 5: Dados da Coleta - Rio Toledo - 29/04/2013

Vertical	Distância	Profundidade (p)	$0,6p$	Velocidade Média
1	0,0	0,00	0,000	0,000
2	0,5	0,38	0,228	0,492
3	1,0	0,52	0,312	0,606
4	1,5	0,63	0,378	0,725
5	2,0	0,80	0,480	0,654
6	2,5	0,90	0,540	0,689
7	3,0	0,88	0,528	0,350
8	3,5	0,88	0,528	0,859
9	4,0	0,75	0,450	0,891
10	4,5	0,60	0,360	0,857
11	5,0	0,70	0,420	0,520
12	5,5	0,45	0,270	0,222
13	6,0	0,00	0,000	0,000

O ajuste da multiquadrática deve ser realizado para definir uma função interpoladora para estimar a velocidade em função de y e z . Para tanto são usados os valores das velocidades medidas em cada uma das posições da profundidade (em cada uma das verticais) e nos pontos localizados no fundo do rio, considerados com velocidades nulas, isto é, $v(y, z = p(y) = 0)$.

Para fazer o ajuste da multiquadrático deve-se adicionar um conjunto de velocidades nulas para pontos localizados no contorno do fundo da seção transversal.

Se foram realizadas medidas em i verticais, existirá uma amostra de $N = i + n$ pontos de observações, onde n é a quantidade de velocidades nulas incluídas com os valores das profundidades z correspondentes.

Na medição temos $i = 13$ apresentados na tabela (5), com isto, devem-se ser incluídos $n = 11$ pontos com velocidades nulas obtendo-se $N = 13 + 11 = 24$ pontos de observação, apresentados na tabela (6) abaixo:

Tabela 6: Tabela Completa com as Velocidade Nulas

Vertical	Distância y	Profundidade z	Velocidade
1	0,0	0,000	0,000
2	0,5	0,228	0,492
3	1,0	0,312	0,606
4	1,5	0,378	0,725
5	2,0	0,480	0,654
6	2,5	0,540	0,689
7	3,0	0,528	0,350
8	3,5	0,528	0,859
9	4,0	0,450	0,891
10	4,5	0,360	0,857
11	5,0	0,420	0,520
12	5,5	0,270	0,222
13	6,0	0,000	0,000
14	0,5	0,380	0,000
15	1,0	0,520	0,000
16	1,5	0,630	0,000
17	2,0	0,800	0,000
18	2,5	0,900	0,000
19	3,0	0,880	0,000
20	3,5	0,880	0,000
21	4,0	0,750	0,000
22	4,5	0,600	0,000
23	5,0	0,700	0,000
24	5,5	0,450	0,000

Então a matriz $\mathbf{V}_{24 \times 24}$ das distâncias calculando cada elemento (y, z) até o seu próximo (y_i, z_i) , $i = 1, 2, \dots, N$ por (3.2) se dá por,

Tabela 7: Matriz \mathbf{V} das Distâncias entre as Coordenadas (y, z)

v_{ji}	v_{j1}	v_{j2}	v_{j3}	v_{j4}	v_{j5}	v_{j6}	v_{j7}	v_{j8}	v_{j9}	v_{j10}	v_{j11}	v_{j12}	v_{j13}	...
v_{1i}	0	0,549	1,047	1,546	2,056	2,557	3,046	3,539	4,025	4,514	5,017	5,506	6,000	...
v_{2i}	0,549	0	0,507	1,011	1,521	2,024	2,517	3,014	3,507	4,002	4,504	5,000	5,504	...
v_{3i}	1,047	0,507	0	0,504	1,014	1,517	2,011	2,509	3,003	3,500	4,001	4,500	5,009	...
v_{4i}	1,546	1,011	0,504	0	0,510	1,013	1,507	2,005	2,501	3,000	3,500	4,001	4,515	...
v_{5i}	2,056	1,521	1,014	0,510	0	0,503	1,001	1,500	2,000	2,502	3,000	3,506	4,028	...
v_{6i}	2,557	2,024	1,517	1,013	0,503	0	0,500	1,000	1,502	2,008	2,502	3,012	3,541	...
v_{7i}	3,046	2,517	2,011	1,507	1,001	0,500	0	0,5	1,003	1,509	2,002	2,513	3,046	...
v_{8i}	3,536	3,014	2,509	2,005	1,500	1,000	0,5	0	0,506	1,014	1,503	2,016	2,555	...
v_{9i}	4,025	3,507	3,003	2,501	2,000	1,502	1,003	0,506	0	0,508	1,000	1,510	2,050	...
v_{10i}	4,514	4,002	3,500	3,000	2,502	2,008	1,509	1,014	0,508	0	0,503	1,004	1,542	...
v_{11i}	5,017	4,504	4,001	3,500	3,000	2,502	2,002	1,503	1,000	0,503	0	0,522	1,084	...
v_{12i}	5,506	5,000	4,500	4,001	3,506	3,012	2,513	2,016	1,510	1,004	0,522	0	0,568	...
v_{13i}	6,000	5,504	5,009	4,515	4,0287	3,541	3,046	2,555	2,050	1,542	1,084	0,568	0	...
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\ddots

Determinada esta matriz, encontra-se sua matriz inversa $\mathbf{V}_{24 \times 24}^{-1}$ e obtém-se os coeficientes amostrais α por (2.44), apresentados na tabela 8 abaixo:

Tabela 8: Tabela dos pesos α

$\alpha_1 =$	0,36753427
$\alpha_2 =$	-1,42190593
$\alpha_3 =$	-0,91481313
$\alpha_4 =$	-0,91770037
$\alpha_5 =$	-0,40499792
$\alpha_6 =$	-0,69690753
$\alpha_7 =$	0,01187802
$\alpha_8 =$	0,68855117
$\alpha_9 =$	-1,00117728
$\alpha_{10} =$	-0,90991914
$\alpha_{11} =$	-1,18774217
$\alpha_{12} =$	-0,22725851
$\alpha_{13} =$	0,20023811
$\alpha_{14} =$	1,14296933
$\alpha_{15} =$	0,90479941
$\alpha_{16} =$	0,89122970
$\alpha_{17} =$	0,41899386
$\alpha_{18} =$	0,23642752
$\alpha_{19} =$	0,07566914
$\alpha_{20} =$	0,40639495
$\alpha_{21} =$	0,85902681
$\alpha_{22} =$	1,43138980
$\alpha_{23} =$	0,19127876
$\alpha_{24} =$	0,35851660

A tabela 9 abaixo, apresenta os valores encontrados para os $F_j = v_j^*$ estimados:

Tabela 9: Tabela dos F_j

$F_1 =$	0,0000000000
$F_2 =$	0,4919999870
$F_3 =$	0,6060000080
$F_4 =$	0,7250000024
$F_5 =$	0,6540000090
$F_6 =$	0,6890000030
$F_7 =$	0,3499999929
$F_8 =$	0,8590000031
$F_9 =$	0,8910000071
$F_{10} =$	0,8569999914
$F_{11} =$	0,5200000040
$F_{12} =$	0,2220000036
$F_{13} =$	0,0000000000
$F_{14} =$	0,0000000000
$F_{15} =$	0,0000000000
$F_{16} =$	0,0000000000
$F_{17} =$	0,0000000000
$F_{18} =$	0,0000000000
$F_{19} =$	0,0000000000
$F_{20} =$	0,0000000000
$F_{21} =$	0,0000000000
$F_{22} =$	0,0000000000
$F_{23} =$	0,0000000000
$F_{24} =$	0,0000000000

Os resíduos $r = v(y, z) - F(y, z)$ são utilizados para atualizar os α_i e com isto determinar as velocidades na superfície livre $z = 0$ que são apresentados na tabela (10):

Tabela 10: Tabela dos F_j na superfície livre

$F_{14} =$	0,488048894
$F_{15} =$	0,780520597
$F_{16} =$	1,030202466
$F_{17} =$	1,051365966
$F_{18} =$	1,113297536
$F_{19} =$	0,753618669
$F_{20} =$	1,327796657
$F_{21} =$	1,331068185
$F_{22} =$	1,173368626
$F_{23} =$	0,710875420
$F_{24} =$	0,166995184

Utilizando o programa matemático *Maple* para interpolar os pontos $v(y, z)$ usando a função Spline Cúbica (Apêndice B), obteve-se os seguintes polinômios interpoladores:

$$p(y)_1 = 0.8816439105y - 0.4865756420y^3, \quad y < 0.5$$

$$p(y)_2 = -0.1249317316 + 1.631234300y - 1.499180778y^2 + 0.5128782100y^3, \quad y < 1$$

$$\begin{aligned}
p(y)_3 &= 0.2728836759 + 0.4377880773y - 0.3057345556y^2 + 0.1150628025y^3, \quad y < 1.5 \\
p(y)_4 &= 1.515532426 - 2.047509424y + 1.351130445y^2 - 0.2531294198y^3, \quad y < 2 \\
p(y)_5 &= 0.6308580538 - 0.7204978656y + 0.6876246657y^2 - 0.1425451233y^3, \quad y < 2.5 \\
p(y)_6 &= -8.210626888 + 9.889284065y - 3.556288107y^2 + 0.4233099130y^3, \quad y < 3 \\
p(y)_7 &= 14.84749302 - 13.16883584y + 4.129751865y^2 - 0.4306945283y^3, \quad y < 3.5 \\
p(y)_8 &= -7.883233958 + 6.314644423y - 1.436956784y^2 + 0.09946820020y^3, \quad y < 4 \\
p(y)_9 &= -59.93785970 + 45.35561372y - 11.19719911y^2 + 0.9128217273y^3, \quad y < 4.5 \\
p(y)_{10} &= 168.2005796 - 106.7366791y + 22.60108819y^2 - 1.590755110y^3, \quad y < 5 \\
p(y)_{11} &= -111.9186483 + 61.33485761y - 11.01321916y^2 + 0.6501987133y^3, \quad y < 5.5 \\
p(y)_{12} &= -35.34647519 + 19.56821773y - 3.419284631y^2 + 0.1899602573y^3, \quad \text{caso contrário.}
\end{aligned}$$

Esses polinômios interpolantes, graficamente, determinam um esboço do perfil do fundo da seção transversal do rio, como apresentado na figura (43) abaixo:

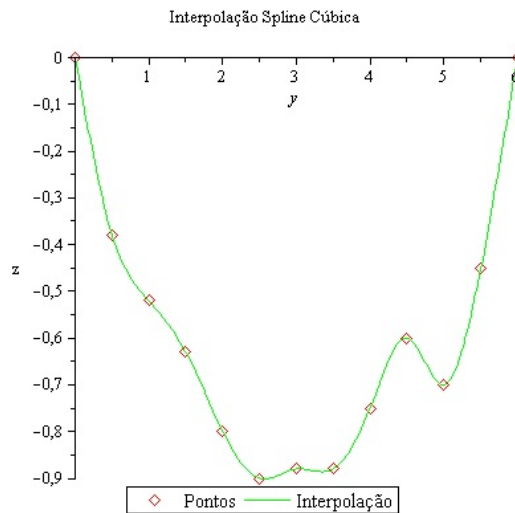


Figura 43: Perfil Transversal do rio Toledo

Integrando a função interpoladora $p(y)$ sobre toda seção transversal determina-se a vazão, então,

$$Q = \iint_S V(y, z) dV \quad (3.3)$$

e,

$$Q = \sum_{i=1}^N \alpha_i \int_0^L \int_0^{p(y)} \sqrt{(y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} dz dy \quad (3.4)$$

onde, L é a largura da vertical e $p(y)$ é a função interpolante no intervalo das verticais.

Os valores calculados pelo *Maple* são apresentados na tabela (11):

Tabela 11: Tabela de Resultados

Vertical	Área Coletada	Área Estimada	Velocidade Coletada	Velocidade Estimada	Velocidade ($z = 0$)	Vazão Coletada	Vazão Estimada	Vazao ($z = 0$)
ME	0,00	0,00	0,000	0,000	0,000	***	***	***
1	0,19	0,10	0,492	0,492	0,488	0,093	0,114	0,113
2	0,26	0,23	0,606	0,606	0,781	0,157	0,173	0,222
3	0,32	0,28	0,725	0,725	1,030	0,228	0,259	0,368
4	0,40	0,36	0,654	0,654	1,051	0,261	0,282	0,453
5	0,45	0,43	0,689	0,689	1,113	0,310	0,308	0,497
6	0,44	0,45	0,350	0,350	0,754	0,154	0,155	0,333
7	0,44	0,44	0,859	0,859	1,328	0,378	0,356	0,550
8	0,38	0,41	0,891	0,891	1,331	0,334	0,293	0,437
9	0,30	0,33	0,857	0,857	1,173	0,257	0,280	0,383
10	0,35	0,33	0,520	0,520	0,711	0,182	0,158	0,216
11	0,23	0,30	0,222	0,222	0,167	0,050	0,026	0,019
MD	0,00	0,12	0,000	0,000	0,000	***	***	***
					Σ	2,404	2,401	3,591

Logo, a vazão estimada através deste modelo multiquadrático foi de $Q^* = 2,401$, para as velocidades estimadas e $Q_{z=0}^* = 3,591$, para as velocidades na superfície livre.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultados da 1ª etapa - Rotações por Tempo

A tabela 12 abaixo, apresenta os resultados das simulações efetuadas nas rotações (pulsos) 35, 50, 75 e 120 para os tempos 10 s, 40 s, 80 s e 120 s.

Tabela 12: Verificação da Frequência do LDM

	Rotações (pulsos)			
Tempo (s)	35	50	75	120
10	3,50	5,00	7,50	12,00
40	0,88	1,25	1,88	3,00
80	0,44	0,63	0,94	1,50
120	0,29	0,42	0,63	1,00

Fonte: Autor

Através dos dados da tabela acima, observou-se que a programação estava correta e o funcionamento dos comandos *TIMER0* e *TIMER1* também estavam corretos.

Com este resultado positivo, pode-se prosseguir com as outras etapas, pois se dependia do bom funcionamento do *TIMER1* para que o LDM reconhecesse o sinal enviado pelo molinete.

4.2 Resultados da 2ª etapa - Simulação no *PROTEUS*

A tabela 13 apresenta a comparação dos dados coletados na pesquisa de campo com os dados simulados no laboratório utilizando o *software PROTEUS*.

Tabela 13: Comparação entre os dados de campo contra os do LDM no *PROTEUS*

Vert	Largura (m)	Profund. (m)	Dados do Campo			Dados do Simulador		
			Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
ME	0,00	0,00	***	0,00	***	***	0,00	***
1	7,50	0,99	0,85	9,90	8,42	0,84	9,90	8,32
2	17,50	1,15	0,83	11,50	9,55	0,84	11,50	9,66
3	27,50	1,06	0,92	10,60	9,75	0,92	10,60	9,75
4	37,50	1,32	0,76	13,20	10,03	0,70	13,20	9,24
5	47,50	1,21	0,60	12,10	7,26	0,63	12,10	7,62
6	57,50	1,29	0,63	12,90	8,13	0,56	12,90	7,22
7	67,50	1,56	0,51	15,60	7,96	0,48	15,60	7,49
8	77,50	2,07	0,46	20,70	9,52	0,42	20,70	8,69
9	87,50	2,09	0,27	20,90	5,64	0,29	20,90	6,06
10	97,50	2,14	0,41	21,44	8,79	0,43	21,44	9,22
11	107,50	1,87	0,30	18,70	5,61	0,33	18,70	6,17
12	117,50	1,23	0,41	12,30	5,04	0,42	12,30	5,17
13	127,50	1,39	0,19	13,90	2,64	0,20	13,90	2,78
14	137,50	1,60	0,29	16,00	4,64	0,30	16,00	4,80
15	147,50	1,23	0,29	12,30	3,57	0,39	12,30	3,80
16	157,50	1,03	0,38	10,30	3,91	0,45	10,30	4,64
17	167,50	0,65	0,73	6,50	4,75	0,74	6,50	4,81
18	177,50	0,51	0,30	5,10	1,53	0,30	5,10	1,53
MD	187,50	0,00	***	0,00	***	***	0,00	***
Σ					116,73			117,97

Fonte: (ANGST, 2008)

onde *ME* e *MD* são os recuos das margens esquerda e direita, respectivamente.

A tabela 14 a seguir, apresenta os resultados estatísticos da comparação:

Tabela 14: Estatística - rio Piquiri contra LDM		
Resumo Estatístico		
	Amostra do Campo	Amostra do LDM
Amostra	18	18
Média (Vazões)	6,48556	6,55389
Desvio Padrão	2,66589	2,41283
Coeficiente Variação	41,11%	36,82%
Variância	7,10694	5,82174
Mínimo	1,53	1,53
Máximo	10,03	9,75

Fonte: Autor

Analisando os valores da tabela 14 acima, observa-se que a média e o desvio padrão estão muito próximos, então, aplica-se o teste-*t* para verificar a hipótese das médias serem iguais ao nível de 5% de significância.

Utilizar o teste-*t* para comparar as médias entre as vazões significa testar as hipóteses:

Hipótese nula - H_0 : μ média (campo) = μ média (LDM).

Hipótese alternativa - H_1 : μ média (campo) \neq μ média (LDM)

Não rejeitar a hipótese H_0 para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = -0,0806291$ e $p\text{-valor} = 0,93621$.

Pelo teste- t o $p\text{-valor} > 0,05$, portanto não se rejeita a hipótese nula (H_0), isto é, as médias entre as vazões são iguais, portanto, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

A segunda comparação foi realizada com os dados coletados pelo Prof. Adir Otto Schmidt no dia 21/02/2013 e o local foi o rio Toledo (Toledo/Pr). A tabela 15 abaixo apresenta a comparação dos dados:

Tabela 15: Dados coletados no rio Toledo comparados com o LDM via (PROTEUS)

Vert	Largura (m)	Profund. (m)	Dados do Campo			Dados do Simulador		
			Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Vazão (m ³ .s ⁻¹)
0	0,2	0,00	0,21	0,15	0,03	0,19	0,15	0,03
1	0,5	1,52	0,53	0,80	0,42	0,55	0,80	0,44
2	0,5	1,68	0,64	0,88	0,56	0,60	0,88	0,53
3	0,5	1,85	0,70	0,96	0,68	0,71	0,96	0,68
4	0,5	2,00	0,79	1,03	0,81	0,79	1,03	0,81
5	0,5	2,10	0,85	1,06	0,90	0,87	1,06	0,92
6	0,5	2,15	0,86	1,06	0,91	0,87	1,06	0,92
7	0,5	2,10	0,85	1,04	0,89	0,86	1,04	0,89
8	0,5	2,06	0,86	0,98	0,84	0,85	0,98	0,83
9	0,5	1,85	0,85	0,90	0,76	0,85	0,90	0,77
10	0,5	1,75	0,77	0,89	0,68	0,75	0,89	0,67
11	0,5	1,80	0,59	0,86	0,51	0,56	0,86	0,48
12	0,2	1,64	0,23	0,16	0,04	0,18	0,16	0,03
Σ					8,04	8,01		

Fonte: Prof. Adir Otto Schmidt - Unioeste - Cascavel

A tabela 16 abaixo apresenta o resumo estatístico da comparação:

Tabela 16: Estatística - rio Toledo contra LDM
Resumo Estatístico

	Campo	LDM
Amostra	13	13
Média (Vazões)	0,617692	0,615385
Desvio Padrão	0,300947	0,305194
Variância	0,0905692	0,0931436
Mínimo	0,03	0,03
Máximo	0,91	0,92

Fonte: Autor

Utilizar o teste- t para comparar as médias entre as vazões significa testar as hipóteses:

Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{campo}) = \mu (\text{LDM})$.

Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{campo}) \neq \mu (\text{LDM})$.

Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = 0,0194124$ e $p - \text{valor} = 0,984673$.

Pelo teste- t o $p\text{-valor} > 0,05$, portanto não se rejeita a hipótese nula (H_0), isto é, a média entre as vazões são iguais, portanto, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

No simulador do Proteus, o LDM foi comparado com outras pesquisas chegando a resultados bem satisfatórios, comprovando que o programa desenvolvido para a leitura da velocidade e cálculo das áreas das seções e das vazões está correto.

Outro fator importante é o comportamento dos componentes eletrônicos, os quais desempenharam seu papel perfeitamente para um bom funcionamento do LDM.

4.3 Resultados da 3ª Etapa - Contador x LDM

A tabela 17 apresenta as comparações realizadas entre o LDM e o contador de pulso do molinete modelo MNL-7.

Tabela 17: Comparação Contador de Pulsos *versus* LDM

Tempo 10s		Tempo 30s		Tempo 30s		Tempo 50s		Tempo 70s	
Veloc. 1, 13m/s				Veloc. 0, 79m/s		Veloc. 1, 18m/s		Veloc. 0, 40m/s	
Contador	LDM	Contador	LDM	Contador	LDM	Contador	LDM	Contador	LDM
41	40	125	126	90	87	218	219	101	100
40	41	125	127	88	87	218	217	100	99
41	41	126	126	88	86	219	218	100	97
41	42	125	125	90	87	218	218	99	98
41	43	125	127	90	87	221	220	100	97
40	42	126	125	90	88	217	219	101	97
41	40	125	124	90	87	221	216	100	99
42	42	126	127	88	87	222	217	100	100
40	42	124	127	88	88	217	216	100	99
41	40	125	126	91	89	222	217	99	100

Fonte: Autor

A tabela 18 traz o resumo estatístico da comparação:

Tabela 18: Estatística - Contador de Pulsos *versus* LDM

	1		2		3		4		5	
	Cont.	LDM	Cont.	LDM	Cont.	LDM	Cont.	LDM	Cont.	LDM
Amostras	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Médias	40,8	41,3	125,2	126	89,3	87,3	219,3	217,7	100	98,6
Desvio P.	0,63	1,06	0,63	1,05	1,16	0,82	2,00	1,34	0,67	1,26
Minimum	40	40	124	124	88	86	217	216	99	97
Maximum	42	43	126	127	91	89	222	220	101	100

Fonte: Autor

Teste de Hipóteses para comparar as médias entre as rotações (teste-t):Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Pelo teste-t, as médias das comparações 1, 2 e 4 são significativas ao nível de 95% de confiança com $p - \text{valor}$ iguais a 0,216269, 0,054371 e 0,0500019, respectivamente, com isto não se rejeita a hipótese H_0 para as amostras 1, 2 e 4.

No caso das comparações 3 e 5, seus $p - \text{valor}$ ficaram em 0,000311035 e 0,00622979, respectivamente, então rejeita-se a hipótese H_0 de que as médias são iguais ao nível de 5%. Entretanto, aplicando-se o teste- F para a hipótese de que os desvios padrões tenham razão 1, ou seja,

Teste de Hipóteses (teste-F):Hipótese nula - $H_0 : \sigma \text{ desvio padrão (contador)} = \sigma \text{ desvio padrão (LDM)}$.Hipótese alternativa - $H_1 : \sigma \text{ desvio padrão (contador)} \neq \sigma \text{ desvio padrão (LDM)}$.Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Obteve-se $p - \text{valor} = 0,322152$ para a comparação 3 e $p - \text{valor} = 0,0699903$ para a comparação 5, com isto, não se rejeita a hipótese H_0 de que os desvios padrões são iguais.

4.4 Resultados da 4ª Etapa - Ensaios no arroio do Pocinho e rio Toledo

Os resultados apresentados nessa etapa, dizem respeito ao LDM na real condição de funcionamento, isto é, fazendo o seu papel de substituto do contador de pulsos na coleta de dados num determinado rio.

4.4.1 Resultados - Arroio do Pocinho - Guarapuava/Pr

Foram feitos dois ensaios completos do LDM no arroio utilizando dois tipos de molinetes.

A tabela 19 a seguir apresenta os resultados obtidos pelo molinete *MLN-7* e o contador de pulso, para o Arroio do Pocinho no dia 10/11/2012.

O tempo de medição selecionado para o contador foi de 40 segundos em duas etapas efetuando a média dos pulsos. O horário inicial da coleta foi às 9h35min e o término às 10h23min, isto é, tempo gasto de 48 minutos. Um dos motivos desse tempo se deu pelo procedimento de calcular a porcentagem de cada profundidade através de calculadora. A cota estava em 0,60m.

Tabela 19: Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - Contador de Pulsos

Tabela 10: Medições e Valores de Fluxo de 7 Seções											
Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R1	R2	Média	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	111	110	0,00 110,50 0,00	0,75	0,75	0,30	0,23
2	1	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	93 108	96 109	94,50 0,00 108,50	0,65 0,74	0,70	0,35	0,24
3	1,5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	95 112	95 114	95,00 0,00 113,00	0,65 0,77	0,71	0,35	0,25
4	2	0,75	0,2 0,6 0,8	0,15 0,45 0,60	92 98	90 102	91,00 0,00 100,00	0,63 0,69	0,66	0,38	0,25
5	2,5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	90 90	87 90	88,50 0,00 90,00	0,61 0,62	0,61	0,35	0,21
6	3	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	100 110	102 108	101,00 0,00 109,00	0,69 0,74	0,72	0,35	0,25
7	3,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	88	91	0,00 89,50 0,00	0,62	0,62	0,30	0,18
8	4	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	85	83	0,00 84,00 0,00	0,58	0,58	0,15	0,09
Σ											1,70

Fonte: Autor

onde *Vert.* é o número da vertical, *Dist.* é a distância entre as verticais, *Prof.* é a profundidade na vertical, % é a porcentagem da profundidade em cada vertical, *R1* e *R2* são as rotações (pulsos) da hélice, *Média* é a média entre as rotações, *Vel. Pontual* a velocidade em cada ponto, *Vel. Média*

a velocidade média na vertical, *Área* é a área da seção e *Q* a vazão calculada.

A tabela 20 apresenta os resultados coletados pelo LDM. O tempo de medição foi de 80 segundos para simular duas leituras. O tempo gasto para a coleta foi de 28 minutos.

Tabela 20: Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - LDM

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	220	0,75	0,75	0,30	0,23
2	1	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	181 212	0,62 0,73	0,67	0,35	0,24
3	1,5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	186 221	0,64 0,75	0,70	0,35	0,24
4	2	0,75	0,2 0,6 0,8	0,15 0,45 0,60	178 183	0,61 0,63	0,62	0,38	0,23
5	2,5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	182 185	0,63 0,64	0,63	0,35	0,22
6	3	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	203 201	0,70 0,69	0,69	0,35	0,24
7	3,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	180	0,62	0,62	0,30	0,19
8	4	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	173	0,60	0,60	0,15	0,09
								Σ	1,68

Fonte: Autor

O resumo estatístico da comparação no Arroio do Pocinho para o dia 10/11/2012 se apresenta na tabela 21:

Tabela 21: Estatística - Arroio do Pocinho - 10/11/2012

Resumo Estatístico				
	Vel. Contador	Vel. LDM	Q Contador	Q LDM
Amostras	8	8	8	8
Médias	0,66875	0,6725	0,2125	0,21
Desvio Padrão	0,0605776	0,0465219	0,0552268	0,0512696
Variância	0,00366964	0,00216429	0,00305	0,00262857
Mínimo	0,58	0,62	0,09	0,09
Máximo	0,75	0,75	0,25	0,24

Fonte: Autor

Teste de Hipóteses para as velocidades médias (teste- t):

Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.

Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.

Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = 0,138866$ e $p - \text{valor} = 0,891534$.

Como $p - \text{valor} > 0,05$ então não se rejeita a hipótese H_0 , isto é, as velocidades médias entre o contador de pulsos e o LDM são iguais, portanto, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

Teste de Hipóteses para as vazões (teste- t):

Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.

Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.

Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = 0,0938351$ e $p - \text{valor} = 0,92657$.

Como $p - \text{valor} > 0,05$, então não se rejeita a hipótese H_0 , isto é, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

Uma segunda medição no Arroio do Pocinho se deu no dia 05/01/21013 e foi utilizado o molinete da marca *Hidromec* com o contador de pulsos da mesma marca (tabela 22) e equações do molinete iguais a $V(m/s) = 0,26175N + 0,00060$ de 0,277 *rps* a 15,6 *rps*. Para esta medição foi selecionado o tempo de 30 segundos tanto para o contador quanto para o LDM.

Nessa medição, foi adotada a ideia de medir as velocidades com o contador e, já em seguida, alterar os cabos de conexão para o LDM e efetuar a leitura no mesmo ponto. O processo foi alternando até o final da coleta, para observar se haveria alguma interferência. A alternância entre os equipamentos foi bem sucedida e não houve problema na coleta. A cota do arroio se encontrava em 0,45m.

Tabela 22: Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - Contador de Pulsos

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R1	R2	Média	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,50	0,6	0,30	72	70	71,00	0,62	0,62	0,25	0,16
2	1	0,50	0,6	0,30	77	77	77,00	0,67	0,67	0,25	0,17
3	1,5	0,55	0,6	0,33	75	77	76,00	0,66	0,66	0,28	0,18
4	2	0,50	0,6	0,30	70	73	71,50	0,62	0,62	0,25	0,16
5	2,5	0,55	0,6	0,33	78	78	78,00	0,68	0,68	0,28	0,19
6	3	0,55	0,6	0,33	78	78	78,00	0,68	0,68	0,28	0,19
7	3,5	0,50	0,6	0,30	73	71	72,00	0,63	0,63	0,25	0,16
8	4	0,50	0,6	0,30	71	71	71,00	0,62	0,62	0,13	0,08
										Σ	1,27

Fonte: Autor

Na tabela 23 a seguir os resultados do LDM. O tempo de medição foi de 30 segundos para que se pudesse checar se, apenas com uma medição no tempo faria diferença no resultado.

Tabela 23: Medição da Vazão do Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - LDM

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,50	0,6	0,30	68	0,59	0,59	0,25	0,15
2	1	0,50	0,6	0,30	69	0,60	0,60	0,25	0,15
3	1,5 (m)	0,55	0,6	0,33	69	0,60	0,60	0,28	0,17
4	2	0,50	0,6	0,30	72	0,63	0,63	0,25	0,16
5	2,5	0,55	0,6	0,33	70	0,61	0,61	0,28	0,17
6	3	0,55	0,6	0,33	70	0,61	0,61	0,28	0,17
7	3,5	0,50	0,6	0,30	68	0,59	0,59	0,25	0,15
8	4	0,50	0,6	0,30	66	0,58	0,58	0,13	0,07
Σ									1,18

Fonte: Autor

O resumo estatístico da comparação no Arroio do Pocinho para o dia 05/01/2013 se apresenta na tabela 24:

Tabela 24: Estatística - Arroio do Pocinho - 05/01/2013

Resumo Estatístico				
	Vel. Contador	Vel. LDM	Q Contador	Q LDM
Amostras	8	8	8	8
Médias	0,6475	0,60125	0,16125	0,14875
Desvio Padrão	0,0276457	0,0155265	0,0352288	0,0331393
Variância	0,000764286	0,000241071	0,00124107	0,00109821
Mínimo	0,62	0,58	0,08	0,07
Máximo	0,68	0,63	0,19	0,17

Fonte: Autor

Teste de Hipóteses para as velocidades médias (teste-t):

Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.

Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.

Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = 4,12569$ e $p - \text{valor} = 0,00102921$.

Como $p - \text{valor} < 0,05$ então se rejeita a hipótese H_0 , isto é, as velocidades médias entre o contador de pulsos e o LDM não são iguais, portanto, existe uma diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%. Um possível motivo para se rejeitar a hipótese H_0 está no pequeno tempo na medição, o qual favorece para a diferença nas médias.

Entretanto, testado a hipótese de que os desvios padrões são iguais, isto é, a razão entre eles é igual a 1 (teste F), obtém-se $F = 3,17037$ e $p - \text{valor} = 0,15089$, logo, como $p - \text{valor} > 0,05$ não se rejeita a hipótese de que os desvios padrões são iguais.

Teste de Hipóteses para as vazões (teste- t):

Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.

Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.

Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.

Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.

Assumindo variâncias iguais: $t = 0,730993$ e $p - \text{valor} = 0,47684$.

Como $p - \text{valor} > 0,05$, então não se rejeita a hipótese H_0 , isto é, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

4.4.2 Resultados - Rio Toledo

No rio Toledo foram feitos quatro ensaios, dois com o molinete modelo *MLN - 7* e dois com o modelo *Hidromec*.

A tabela 25 apresenta os dados coletados no dia 08/10/2012 às 13h40min. A primeira coleta foi feita com o contador de pulsos e o tempo de medição foi de 30 segundos, com duas repetições em cada ponto na vertical. A cota do rio estava em 0,15m.

Tabela 25: Medição da Vazão do rio Toledo - 08/10/2012 - Contador de Pulsos

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R1	R2	Média	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,38	0,2 0,6 0,8	0,08 0,23 0,30	56	54	55	0,51	0,51	0,19	0,10
2	1	0,52	0,2 0,6 0,8	0,10 0,31 0,42	68	65	66	0,61	0,61	0,26	0,16
3	1,5	0,63	0,2 0,6 0,8	0,13 0,38 0,50	71	75	73	0,67	0,69	0,32	0,22
4	2	0,80	0,2 0,6 0,8	0,16 0,48 0,64	63	77	70	0,64	0,62	0,40	0,25
5	2,5	0,90	0,2 0,6 0,8	0,18 0,54 0,72	72	69	71	0,65	0,68	0,45	0,31
6	3	0,88	0,2 0,6 0,8	0,18 0,53 0,70	54	50	52	0,48	0,72	0,44	0,32
7	3,5	0,88	0,2 0,6 0,8	0,18 0,53 0,70	95	77	86	0,78	0,90	0,44	0,40
8	4	0,75	0,2 0,6 0,8	0,15 0,45 0,60	98	89	93	0,84	0,96	0,38	0,36
9	4,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	104	102	103	0,93	0,93	0,30	0,28
10	5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	26	29	27	0,26	0,49	0,35	0,17
11	5,5	0,45	0,2 0,6 0,8	0,09 0,27 0,36	21	23	22	0,22	0,22	0,23	0,05
12	6	0,35	0,2 0,6 0,8	0,07 0,21 0,28	18	20	19	0,19	0,19	0,09	0,02
Σ											2,61

Fonte: Autor

Na tabela 26 os dados coletados pelo LDM. O tempo de medição foi de 60 segundos para simular as duas repetições no ponto da vertical.

Tabela 26: Medição da Vazão do rio Toledo - 08/10/2012 - LDM

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	0,38	0,2 0,6 0,8	0,08 0,23 0,30	116	0,54	0,54	0,19	0,10
2	1	0,52	0,2 0,6 0,8	0,10 0,31 0,42	132	0,61	0,61	0,26	0,16
3	1,5	0,63	0,2 0,6 0,8	0,13 0,38 0,50	166 152	0,76 0,69	0,73	0,32	0,23
4	2	0,80	0,2 0,6 0,8	0,16 0,48 0,64	155 131	0,71 0,60	0,65	0,40	0,26
5	2,5	0,90	0,2 0,6 0,8	0,18 0,54 0,72	136 166	0,62 0,76	0,69	0,45	0,31
6	3	0,88	0,2 0,6 0,8	0,18 0,53 0,70	136 171	0,62 0,78	0,70	0,44	0,31
7	3,5	0,88	0,2 0,6 0,8	0,18 0,53 0,70	147 232	0,67 1,05	0,86	0,44	0,38
8	4	0,75	0,2 0,6 0,8	0,15 0,45 0,60	170 234	0,77 1,06	0,91	0,38	0,34
9	4,5	0,60	0,2 0,6 0,8	0,12 0,36 0,48	189	0,86	0,43	0,30	0,13
10	5	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	71 153	0,34 0,70	0,52	0,35	0,18
11	5,5	0,45	0,2 0,6 0,8	0,09 0,27 0,36	53	0,26	0,26	0,23	0,06
12	6	0,35	0,2 0,6 0,8	0,07 0,21 0,28	42	0,21	0,21	0,09	0,02
Σ									2,48

Fonte: Autor

A seguir, a tabela 27 apresenta o resumo estatístico da comparação das coletas no rio Toledo para o dia 08/10/2012.

Tabela 27: Estatística - rio Toledo - 08/10/2012

Resumo Estatístico				
	Vel. Contador	Vel. LDM	Q Contador	Q LDM
Amostras	12	12	12	12
Médias	0,626667	0,5925	0,22	0,206667
Desvio Padrão	0,24901	0,214736	0,122103	0,116411
Variância	0,0620061	0,0461114	0,0149091	0,0135515
Mínimo	0,19	0,21	0,02	0,02
Máximo	0,96	0,91	0,4	0,38

Fonte: Autor

Os valores calculados pelo *Statgraphics* para o teste-*t* foram $t = 0,359953$ e $p - valor = 0,722315$ para a comparação das médias entre as velocidades e $t = 0,273784$ e $p - valor = 0,786805$ para a comparação das médias das vazões.

Como $p - valor > 0,05$ para ambas as comparações, não se rejeita a hipótese das médias das velocidades serem iguais e das médias das vazões serem iguais, portanto não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das amostras ao nível de confiança de 95,0%.

Na segunda medição no rio Toledo, como a cota estava em 1,45, foi a primeira vez que as medições ocorrem em três pontos na vertical. A tabela 28 traz os dados coletados pelo contador de pulsos e a tabela 29 os dados coletados pelo LDM. O tempo foi de 30 segundos para o contador (com duas repetições) e para o LDM.

Nessa medição, novamente foi testada a alternância entre o contador e o LDM para cada vertical, onde o LDM se comportou corretamente não apresentando nenhum problema com a conexão e desconexão dos cabos.

Tabela 28: Medição da Vazão do rio Toledo - 15/02/2013 - Contador de Pulsos

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R1	R2	Média	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	1,50	0,2	0,30	40	42	41	0,39	0,48	0,75	0,36
			0,6	0,90	51	53	52	0,48			
			0,8	1,20	63	60	62	0,57			
2	1	1,58	0,2	0,32	70	70	70	0,64	0,60	0,79	0,48
			0,6	0,95	53	50	52	0,48			
			0,8	1,26	91	90	91	0,82			
3	1,5	1,58	0,2	0,32	58	57	58	0,53	0,62	0,79	0,49
			0,6	0,95	59	60	60	0,55			
			0,8	1,26	93	91	92	0,84			
4	2	1,65	0,2	0,33	82	85	84	0,76	0,76	0,83	0,63
			0,6	0,99	78	81	80	0,73			
			0,8	1,32	94	92	93	0,84			
5	2,5	1,70	0,2	0,34	91	95	93	0,84	0,84	0,85	0,71
			0,6	1,02	90	90	90	0,82			
			0,8	1,36	97	96	97	0,87			
6	3	1,70	0,2	0,34	92	93	93	0,84	0,84	0,85	0,72
			0,6	1,02	92	92	92	0,84			
			0,8	1,36	95	95	95	0,86			
7	3,5	1,55	0,2	0,31	108	108	108	0,98	1,02	0,78	0,79
			0,6	0,93	106	110	108	0,98			
			0,8	1,24	131	128	130	1,17			
8	4	1,50	0,2	0,30	113	111	112	1,01	0,98	0,75	0,74
			0,6	0,90	108	112	110	0,99			
			0,8	1,20	100	105	103	0,93			
9	4,5	1,60	0,2	0,32	101	102	102	0,92	0,99	0,80	0,80
			0,6	0,96	118	115	117	1,05			
			0,8	1,28	104	107	106	0,95			
10	5	1,65	0,2	0,33	70	70	70	0,64	0,73	0,83	0,60
			0,6	0,99	82	80	81	0,74			
			0,8	1,32	88	89	89	0,80			
11	5,5	1,50	0,2	0,30	70	70	70	0,64	0,69	0,75	0,52
			0,6	0,90	73	75	74	0,68			
			0,8	1,20	81	85	83	0,76			
12	6	1,23	0,2	0,25	50	52	51	0,47	0,45	0,31	0,14
			0,6	0,74	41	38	40	0,37			
			0,8	0,98	60	64	62	0,57			
Σ											6,96

Fonte: Autor

Tabela 29: Medição da Vazão do rio Toledo - 15/02/2013 - LDM

Vert.	Dist. (m)	Prof. (m)	%	(m)	R	Vel. Pontual (m.s ⁻¹)	Vel. Média (m.s ⁻¹)	Área (m ²)	Q (m ³ .s ⁻¹)
1	0,5	1,50	0,2	0,30	41	0,39	0,47	0,75	0,35
			0,6	0,90	50	0,46			
			0,8	1,20	61	0,56			
2	1	1,58	0,2	0,32	68	0,62	0,59	0,79	0,46
			0,6	0,95	50	0,46			
			0,8	1,26	88	0,80			
3	1,5	1,58	0,2	0,32	53	0,49	0,57	0,79	0,45
			0,6	0,95	55	0,51			
			0,8	1,26	86	0,78			
4	2	1,65	0,2	0,33	78	0,71	0,74	0,83	0,61
			0,6	0,99	79	0,72			
			0,8	1,32	89	0,81			
5	2,5	1,70	0,2	0,34	95	0,86	0,87	0,85	0,74
			0,6	1,02	95	0,86			
			0,8	1,36	100	0,91			
6	3	1,70	0,2	0,34	95	0,86	0,87	0,85	0,74
			0,6	1,02	95	0,86			
			0,8	1,36	100	0,91			
7	3,5	1,55	0,2	0,31	111	1,00	1,05	0,78	0,81
			0,6	0,93	109	0,99			
			0,8	1,24	135	1,21			
8	4	1,50	0,2	0,30	112	1,01	0,97	0,75	0,73
			0,6	0,90	105	0,95			
			0,8	1,20	106	0,96			
9	4,5	1,60	0,2	0,32	100	0,91	1,00	0,80	0,80
			0,6	0,96	117	1,06			
			0,8	1,28	110	0,99			
10	5	1,65	0,2	0,33	69	0,63	0,73	0,83	0,60
			0,6	0,99	80	0,73			
			0,8	1,32	92	0,84			
11	5,5	1,50	0,2	0,30	66	0,61	0,64	0,75	0,48
			0,6	0,90	68	0,62			
			0,8	1,20	77	0,70			
12	6	1,23	0,2	0,25	50	0,46	0,45	0,31	0,14
			0,6	0,74	41	0,39			
			0,8	0,98	60	0,55			
Σ									6,92

Fonte: Autor

A tabela 30 apresenta o resumo estatístico da medição do dia 15/02/2013, bem como o resultado do teste-*t* de comparação das médias das velocidades e das vazões:

Tabela 30: Estatística - rio Toledo - 15/02/2013

Resumo Estatístico				
	Vel. Contador	Vel. LDM	Q Contador	Q LDM
Amostras	12	12	12	12
Médias	0,75	0,745833	0,581667	0,575833
Desvio Padrão	0,192117	0,206374	0,195673	0,205358
Variância	0,0369091	0,0425902	0,0382879	0,042172
Mínimo	0,45	0,45	0,14	0,14
Máximo	1,02	1,05	0,8	0,81
$t =$	0,0511915		0,071239	
$p - valor =$	0,959635		0,943851	

Fonte: Autor

Como $p - valor > 0,05$ para ambas as comparações, não se rejeita a hipótese das médias das velocidades serem iguais e das médias das vazões serem iguais, portanto, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das amostras ao nível de confiança de 95,0%.

O terceiro ensaio no rio Toledo foi realizado no dia 11/03/2013 e o objetivo foi a comparação entre as velocidades, sem se preocupar com o tempo selecionado.

Os resultados e o resumo estatísticos são apresentados nas tabelas 31 e 34 a seguir:

Tabela 31: Comparação entre as Velocidades Médias - C.P. x LDM

	Contador de Pulsos	LDM
Profundida (m)	Veloc. Média (m/s)	Veloc. Média (m/s)
0,40	0,41	0,42
0,70	0,39	0,40
0,87	0,49	0,51
1,00	0,64	0,64
1,05	0,61	0,63
1,07	0,59	0,62
0,85	0,71	0,52
0,50	0,73	0,44
0,45	0,58	0,39
0,53	0,44	0,41
0,40	0,22	0,38
0,23	0,19	0,18

Fonte: Autor

Tabela 32: Estatística - rio Toledo - 11/03/2013

Resumo Estatístico		
	Vel. Média Contador	Vel. Média LDM
Amostra	12,00	12,00
Média	0,50	0,46
Desvio Padrão	0,18	0,13
Variância	0,03	0,02
Mínimo	0,19	0,18
Máximo	0,73	0,64

Fonte: Autor

Teste de Hipóteses para as velocidades médias (teste- t):Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{contador}) = \mu (\text{LDM})$.Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{contador}) \neq \mu (\text{LDM})$.Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.Assumindo variâncias iguais: $t = 0,603612$ e $p - \text{valor} = 0,552275$

Como $p - \text{valor} > 0,05$, então não se rejeita a hipótese H_0 , isto é, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

Todas as planilhas organizadas no *MS-Excel* estão nos Anexos, p. 120.

4.5 Resultados da 5ª Etapa - Ensaio no Canal da Piracema de Itaipu - Foz do Iguaçu

4.5.1 Comparação com os equipamentos ADCP modelos *RS – M9* e *S5*

A tabela 33 mostra as velocidades médias calculadas pelo LDM e pelo *RS – M9*:Tabela 33: Canal da Piracema - LDM *versus* *RS – M9*

Vertical	Velocidade Média (m/s)	
	LDM	RS-M9
1	0,16	0,17
2	0,17	0,17
3	0,17	0,17
4	0,21	0,18
5	0,21	0,17
6	0,20	0,18

Fonte RS-M9: Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos - OPSH.DT, Itaipu Binacional

Estudo estatístico para avaliar as médias das velocidades é apresentado pela tabela 34 a seguir:

Tabela 34: Estatística - Canal da Piracema - 23/04/2013

Resumo Estatístico		
	Vel. Média LDM	Vel. Média $RS - M9$
Amostra	6	6
Média	0,186667	0,173333
Desvio Padrão	0,000506667	2,67E-05
Variância	12,06%	2,98%
Mínimo	0,16	0,17
Máximo	0,21	0,18

Fonte: Autor

Teste de Hipóteses para as velocidades médias (teste- t):Hipótese nula - $H_0 : \mu (\text{LDM}) = \mu (RS - M9)$.Hipótese alternativa - $H_1 : \mu (\text{LDM}) \neq \mu (RS - M9)$.Não rejeitar a hipótese nula para $\varphi = 0,05$.Onde $x \sim \mathcal{N}(\mu; \sigma^2)$.Assumindo variâncias iguais: $t = 1,41421$ e $p - \text{valor} = 0,18767$

Como $p - \text{valor} > 0,05$, então não se rejeita a hipótese H_0 , isto é, não há diferença estatisticamente significativa entre as médias das duas amostras ao nível de confiança de 95,0%.

A tabela 35 apresenta o resumo geral da vazão calculada no canal. A tabela mostra os métodos utilizados pelos equipamentos ADCP (Travessia¹ e ScbSc²)

Tabela 35: Dados do Canal da Piracema - Itaipu, LDM e ADCP

Equipamento	Método	Total Q	Área	Veloc. Média
M9	Travessia	2,41	14,36	0,17
M9	ScbSc	2,47	14,33	0,17
S5	Travessia	2,27	14,244	0,16
Médias		2,38	14,31	0,17
LDM	À Vau	2,12	13,29	0,16

Fonte (ADCP): Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos - OPSH.DT, Itaipu Binacional

Como a velocidade média é obtida pela razão entre a vazão total (Q) pela área total da seção (A), e, estatisticamente foi verificado que as velocidades médias não possuem diferença significativa, logo, o comportamento do LDM foi o mesmo comparado com os equipamentos ADCP.

¹Método onde o equipamento percorre um alinhamento de uma margem a outra.²Método seção por seção.

4.6 Resultados nas *Home Pages* do LDM

4.6.1 Primeira *Home Page* - Visualização dos Dados Coletados

A figura 44 apresenta a tela de abertura da primeira *home page* para ser efetuada a abertura do arquivo “coleta 11-03-2013.TXT” e apresentar os dados coletados na tela seguinte (figura 45).

Dados Coletados pelo LDM x

localhost/marcos/index.php

Google Facebook MyELT | Online Engl... Editorial Manager® ABRH - Associação ... Portal CNPq E-mail Unioeste Google Tradutor Acad

Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos
LDM
Visualização dos Dados Coletados


Esta página faz parte da Tese de Doutorado de
Marcos Freitas de Moraes
PPGMNE - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR - Curitiba - Pr
Orientadora Prof. Drª. Lilliana Madalena Gramani
2010-2013

Local da Coleta:
Pesquisador.....:

coleta 11-03-2013.TXT

Apoio:

 **PARANÁ**
GOVERNO DO ESTADO
Secretaria da Ciência, Tecnologia
e Ensino Superior

 **FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA**
Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná

Agradecimentos Especiais:

Marcelo Ribeiro Salmon - Responsável pelo desenvolvimento eletrônico do LDM
COELE - Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica - UTFPR - campus Toledo/Pr
Thiago Auler - Estudante de Téc. Informática - UTFPR

Figura 44: Tela de Abertura - Visualização dos Dados Coletados

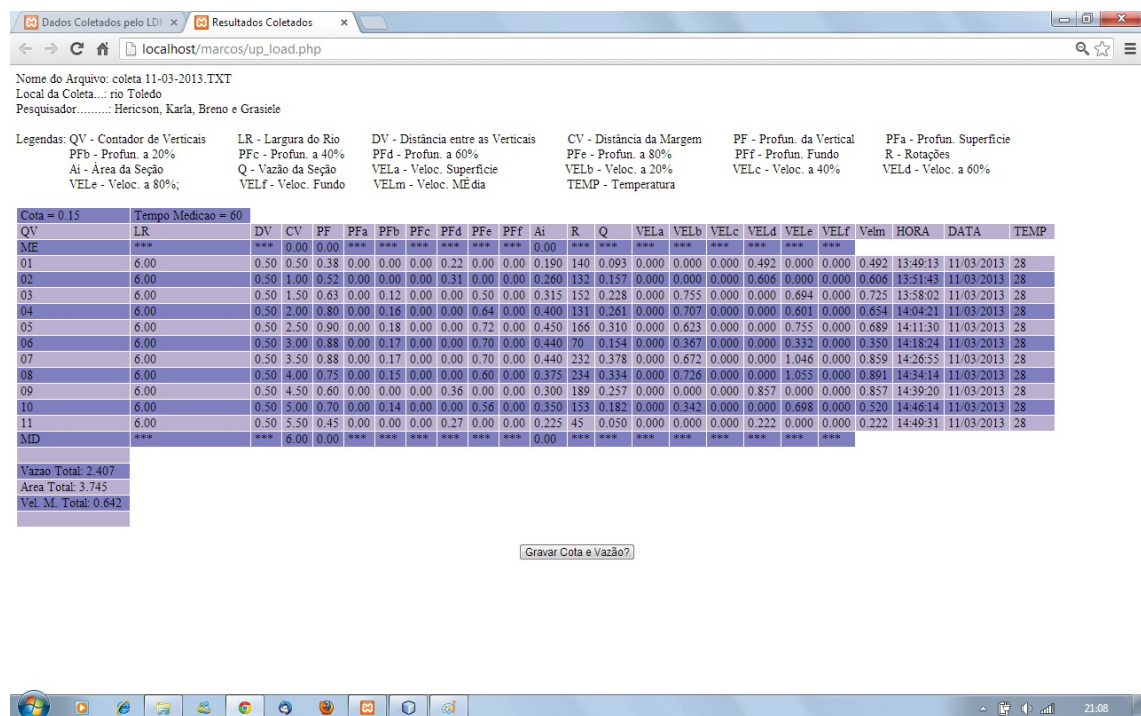


Figura 45: Janela dos Dados - rio Toledo - 11/03/2013

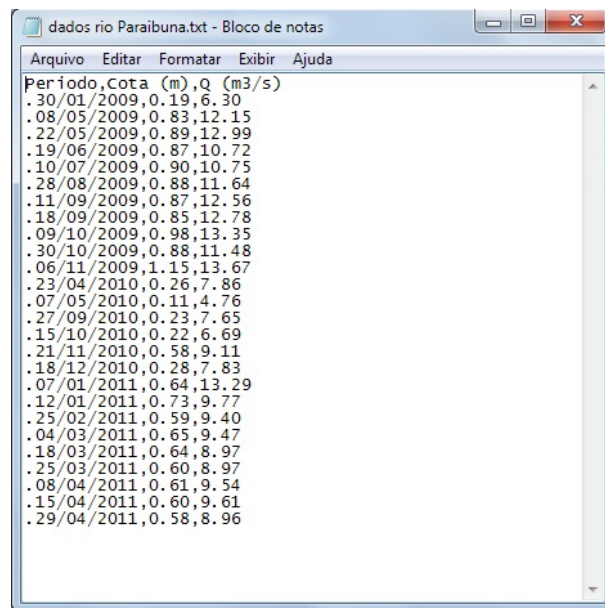
No rodapé da página, o botão “**Gravar Cota e Vazão?**” efetua a gravação das informações: período, cota e vazão em um outro arquivo de texto (nome a critério do usuário) para serem visualizados na *home page* da curva-chave.

4.6.2 Segunda *Home Page* - Cálculo da Regressão Linear e Curva-Chave

As curvas-chaves exigem para sua definição, uma série de medidas entre cota e vazão, distribuídas ao longo de um determinado tempo. Quanto maior o número de medições melhores são os resultados. A curva resultante não deverá afastar-se mais que 5% dos pontos medidos (PINTO; HOLTZ, 2000).

Para a verificação dos resultados calculados e do gráfico da curva-chave foram utilizados os dados de Paiva, Moraes e Larivoir (2011) coletados no rio Paraibuna, na localidade do Distrito de Chapéu D’Uvas - Juiz de Fora (MG), utilizando um molinete hidrométrico.

Foram efetuadas 26 medições entre o período de 31/01/2009 a 29/04/2011, com uma vazão média de $10,01 \text{ m}^3/\text{s}$ e a média da cota na jusante de $0,64 \text{ m}$. A figura 46 apresenta os dados gravados no arquivo de texto.

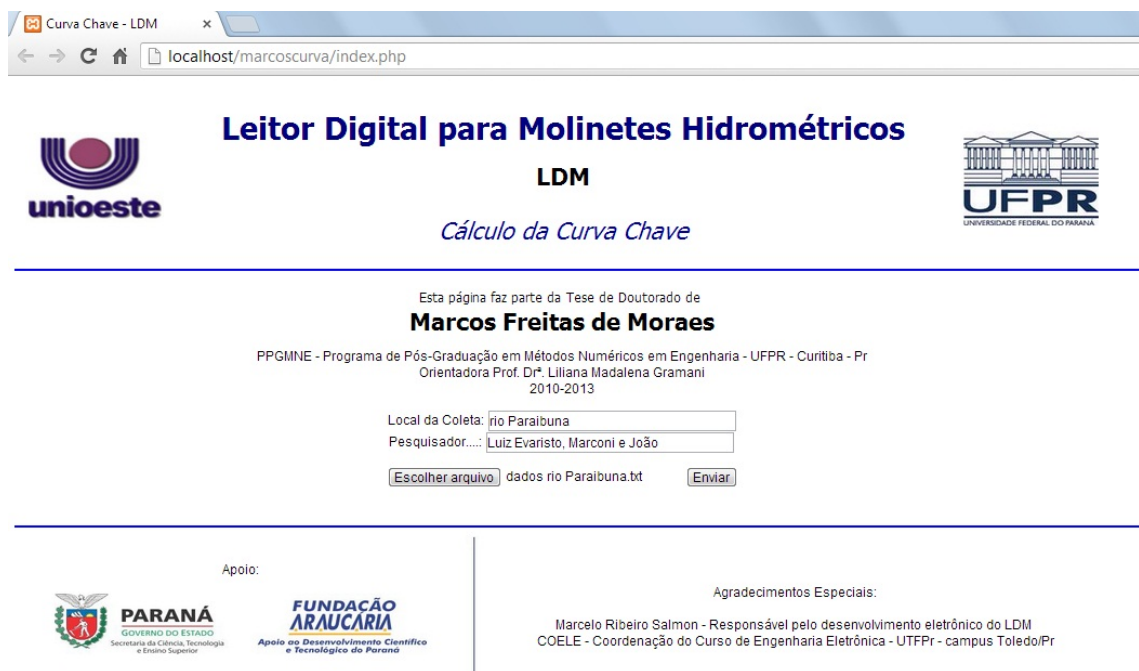


Periodo	Cota (m)	Q (m3/s)
.30/01/2009	0.19	6.30
.08/05/2009	0.83	12.15
.22/05/2009	0.89	12.99
.19/06/2009	0.87	10.72
.10/07/2009	0.90	10.75
.28/08/2009	0.88	11.64
.11/09/2009	0.87	12.56
.18/09/2009	0.85	12.78
.09/10/2009	0.98	13.35
.30/10/2009	0.88	11.48
.06/11/2009	1.15	13.67
.23/04/2010	0.26	7.86
.07/05/2010	0.11	4.76
.27/09/2010	0.23	7.65
.15/10/2010	0.22	6.69
.21/11/2010	0.58	9.11
.18/12/2010	0.28	7.83
.07/01/2011	0.64	13.29
.12/01/2011	0.73	9.77
.25/02/2011	0.59	9.40
.04/03/2011	0.65	9.47
.18/03/2011	0.64	8.97
.25/03/2011	0.60	8.97
.08/04/2011	0.61	9.54
.15/04/2011	0.60	9.61
.29/04/2011	0.58	8.96

Fonte: (PAIVA; MORAES; LARIVOUR, 2011)

Figura 46: Arquivo de texto com os Dados do Rio Paraibuna

A tela de abertura da *home page* da curva-chave é apresentada na figura 47:



Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos
LDM
Cálculo da Curva Chave

Esta página faz parte da Tese de Doutorado de
Marcos Freitas de Moraes
PPGMNE - Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia - UFPR - Curitiba - Pr
Orientadora Prof. Dr. Lillian Madalena Gramani
2010-2013

Local da Coleta:
Pesquisador.....:

dados rio Paraibuna.txt

Apoio:

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO
Secretaria da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior

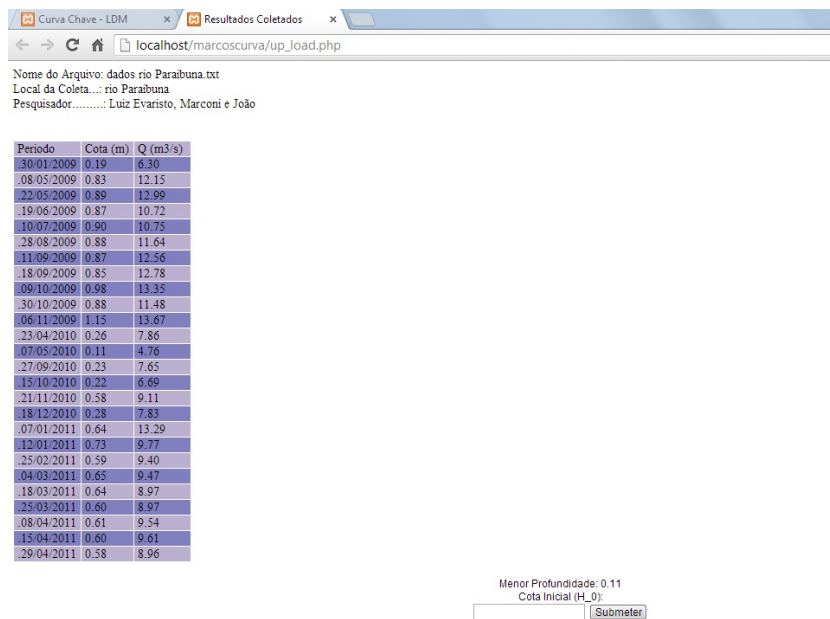
FUNDAÇÃO ARAUCÁRIA
Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná

Agradecimentos Especiais:

Marcelo Ribeiro Salmon - Responsável pelo desenvolvimento eletrônico do LDM
COELE - Coordenação do Curso de Engenharia Eletrônica - UTFPR - campus Toledo/Pr

Figura 47: Tela de Abertura - Cálculo da Curva-Chave

Após selecionar o arquivo de texto com os dados das cotas-descargas, abre-se a página seguinte (figura 48):



Nome do Arquivo: dados rio Parabuna.txt
Local da Coleta: rio Parabuna
Pesquisador: Luiz Evaristo, Marconi e João

Periodo	Cota (m)	Q (m3/s)
30/01/2009	0.19	6.30
08/05/2009	0.83	12.15
22/05/2009	0.89	12.99
19/06/2009	0.87	10.72
10/07/2009	0.90	10.75
28/08/2009	0.88	11.64
11/09/2009	0.87	12.56
18/09/2009	0.85	12.78
09/10/2009	0.98	13.35
30/10/2009	0.88	11.48
06/11/2009	1.15	13.67
23/04/2010	0.26	7.86
07/05/2010	0.11	4.76
27/09/2010	0.23	7.65
15/10/2010	0.22	6.69
21/11/2010	0.58	9.11
18/12/2010	0.28	7.83
07/01/2011	0.64	13.29
12/01/2011	0.73	9.77
25/02/2011	0.59	9.40
04/03/2011	0.65	9.47
18/03/2011	0.64	8.97
25/03/2011	0.60	8.97
08/04/2011	0.61	9.54
15/04/2011	0.60	9.61
29/04/2011	0.58	8.96

Menor Profundidade: 0.11
Cota Inicial (H_0):

Figura 48: Tela de Apresentação dos Dados Cota-Descarga

No rodapé da página é apresentado o valor da menor cota e solicita ao usuário um valor para a cota inicial (H_0) para ser utilizado no cálculo da regressão linear.

As figuras 49 e 50 apresentam os resultados dos cálculos efetuados pelo método de aproximação do mínimos quadrados (M.M.Q.).

Curva Chave - LDM

Resultados Coletados

Página dos Cálculos

localhost/marcoscurva/calculos.php

Arquivo onde serão armazenados os dados calculados: dados_tratados-13-05-2013.txt

Local da Coleta.....: rio Paraibuna

Pesquisador.....: Luiz Evaristo, Marconi e João

H₀: 0.1

Cota (H)	Q Obs.	H - H ₀	X = Log(H - H ₀)	Y = Log(Q Obs)	X.Y	X ²	Y ²
0.19	6.30	0.09	-2.40795	1.84055	-4.43194	5.79820	3.38762
0.83	12.15	0.73	-0.31471	2.49733	-0.78594	0.09904	6.23665
0.89	12.99	0.79	-0.23572	2.56418	-0.60443	0.05557	6.57502
0.87	10.72	0.77	-0.26136	2.37211	-0.61999	0.06831	5.62691
0.90	10.75	0.80	-0.22314	2.37491	-0.52994	0.04979	5.64018
0.88	11.64	0.78	-0.24846	2.45445	-0.60984	0.06173	6.02431
0.87	12.56	0.77	-0.26136	2.53052	-0.66139	0.06831	6.40352
0.85	12.78	0.75	-0.28768	2.54788	-0.73298	0.08276	6.49170
0.98	13.35	0.88	-0.12783	2.59152	-0.33128	0.01634	6.71596
0.88	11.48	0.78	-0.24846	2.44061	-0.60640	0.06173	5.95656
1.15	13.67	1.05	0.04879	2.61520	0.12760	0.00238	6.83929
0.26	7.86	0.16	-1.83258	2.06179	-3.77839	3.35835	4.25096
0.11	4.76	0.01	-4.60517	1.56025	-7.18521	21.20759	2.43437
0.23	7.65	0.13	-2.04022	2.03471	-4.15125	4.16250	4.14003
0.22	6.69	0.12	-2.12026	1.90061	-4.02980	4.49552	3.61233
0.58	9.11	0.48	-0.73397	2.20937	-1.62161	0.53871	4.88133
0.28	7.83	0.18	-1.71480	2.05796	-3.52899	2.94053	4.23521
0.64	13.29	0.54	-0.61619	2.58701	-1.59408	0.37969	6.69263
0.73	9.77	0.63	-0.46204	2.27932	-1.05313	0.21348	5.19528
0.59	9.40	0.49	-0.71335	2.24071	-1.59841	0.50887	5.02078
0.65	9.47	0.55	-0.59784	2.24813	-1.34401	0.35741	5.05408
0.64	8.97	0.54	-0.61619	2.19389	-1.35184	0.37969	4.81313
0.60	8.97	0.50	-0.69315	2.19389	-1.52069	0.48045	4.81313
0.61	9.54	0.51	-0.67334	2.25549	-1.51872	0.45339	5.08725
0.60	9.61	0.50	-0.69315	2.26280	-1.56846	0.48045	5.12028
0.58	8.96	0.48	-0.73397	2.19277	-1.60943	0.53871	4.80824
Somatórias:			-23.41411	59.10794	-47.24055	46.85952	136.05677

Número de Dados = 26

X Médio = -0.90054

Y Médio = 2.27338

Cálculo da Regressão Linear na forma $f'(x) = A + Bx$ para $Q = a(H - H_0)^b$

Valor do Coeficiente A = 11.97266

Valor do Coeficiente B = 0.23235

Figura 49: Tela dos Cálculos (M.M.Q.) - 1ª Parte

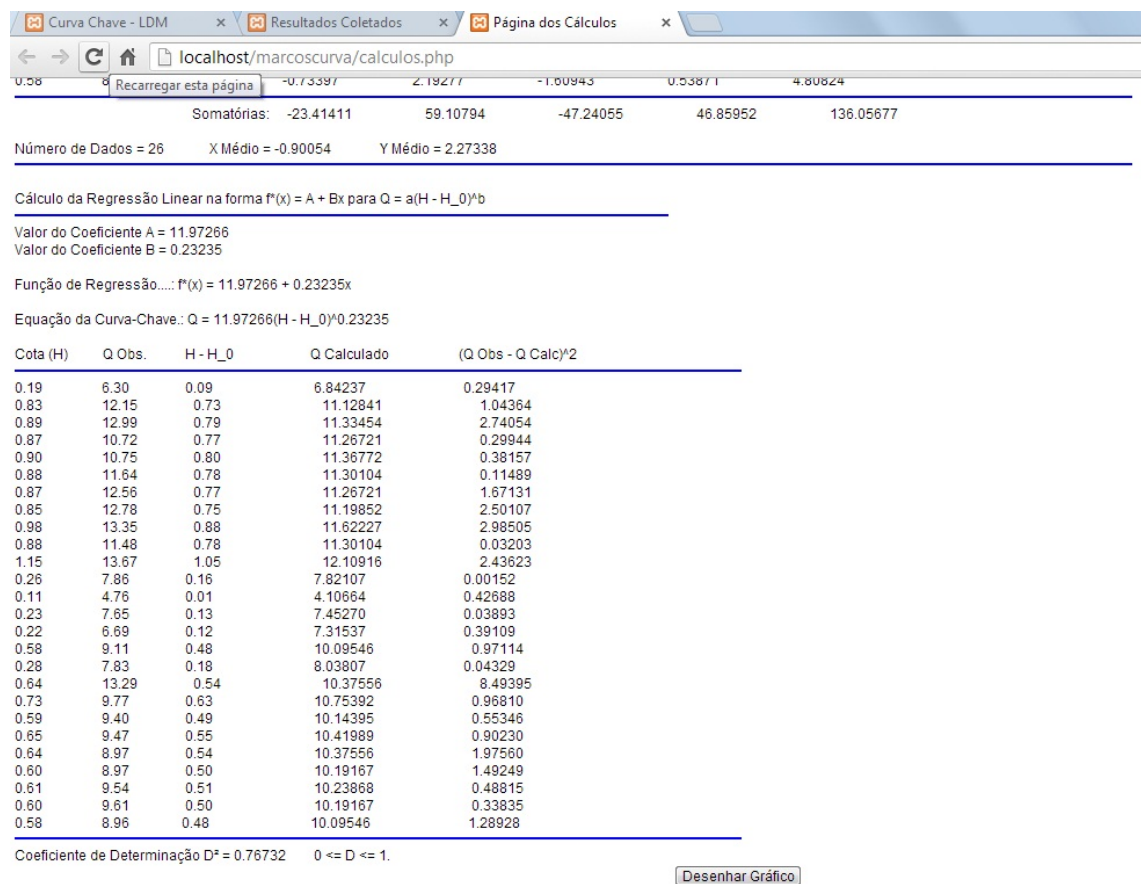


Figura 50: Tela dos Cálculos (M.M.Q) - 2ª Parte

4.6.3 Cálculo da Relação Cota x Vazão pelo Método de Aproximação dos Mínimos Quadrados

A tabela 36 apresenta os valores calculados para os dados do rio Paraibuna (PAIVA; MORAES; LARIVOIR, 2011), com uma cota inicial de 0,1m.

Tabela 36: Valores Calculados para Determinação da Relação Cota x Vazão

Cota (H)	Q Obs.	$H - H_0$	$X = \log(H - H_0)$	$Y = \log(Q_{Obs})$	$X.Y$	X^2	Y^2
0,19	6,30	0,09	-2,407	1,840	-4,43194	5,7982	3,3876
0,83	12,15	0,73	-0,314	2,497	-0,78594	0,09904	6,2366
0,89	12,99	0,79	-0,235	2,564	-0,60443	0,05557	6,5750
0,87	10,72	0,77	-0,261	2,372	-0,61999	0,06831	5,6269
0,90	10,75	0,80	-0,223	2,374	-0,52994	0,04979	5,6401
0,88	11,64	0,78	-0,248	2,454	-0,60984	0,06173	6,0243
0,87	12,56	0,77	-0,261	2,530	-0,66139	0,06831	6,4035
0,85	12,78	0,75	-0,287	2,547	-0,73298	0,08276	6,491
0,98	13,35	0,88	-0,127	2,591	-0,33128	0,01634	6,7159
0,88	11,48	0,78	-0,248	2,440	-0,6064	0,06173	5,9565
1,15	13,67	1,05	0,048	2,615	0,1276	0,00238	6,8392
0,26	7,86	0,16	-1,832	2,061	-3,77839	3,35835	4,2509
0,11	4,76	0,01	-4,605	1,560	-7,18521	21,20759	2,4343
0,23	7,65	0,13	-2,040	2,034	-4,15125	4,1625	4,1400
0,22	6,69	0,12	-2,120	1,900	-4,0298	4,49552	3,6123
0,58	9,11	0,48	-0,733	2,209	-1,62161	0,53871	4,8813
0,28	7,83	0,18	-1,718	2,057	-3,52899	2,94053	4,2352
0,64	13,29	0,54	-0,616	2,587	-1,59408	0,37969	6,6926
0,73	9,77	0,63	-0,462	2,279	-1,05313	0,21348	5,1952
0,59	9,40	0,49	-0,713	2,240	-1,59841	0,50887	5,0207
0,65	9,47	0,55	-0,597	2,248	-1,34401	0,35741	5,0540
0,64	8,97	0,54	-0,616	2,193	-1,35184	0,37969	4,8131
0,60	8,97	0,50	-0,693	2,193	-1,52069	0,48045	4,8131
0,61	9,54	0,51	-0,673	2,255	-1,51872	0,45339	5,0872
0,60	9,61	0,50	-0,693	2,262	-1,56846	0,48045	5,1202
0,58	8,96	0,48	-0,733	2,192	-1,60943	0,53871	4,8082
\sum			-23,414	59,107	-47,2406	46,85952	136,0568

Como o número de dados é $n = 26$, então o $\bar{X} = -0.90054$ (X médio) e $\bar{Y} = 2.27338$ (Y médio). Aplicando os valores encontrados nas equações 2.24 e 2.25, p. 39, obtém-se os valores para as constantes A e B iguais a,

Valor do Coeficiente $A = 11,97266$

Valor do Coeficiente $B = 0,23235$.

Logo, a Função da Regressão Linear toma a forma $f^*(x) = 11,97266 + 0,23235x$ e a equação da Curva-Chave fica $Q = 11,97266(H - H_0)^{0,23235}$ ou $Q = 11,97266(H - 0,1)^{0,23235}$.

Substituindo os valores das cotas na equação $Q = 11,97266(H - 0,1)^{0,23235}$, obtém-se os valores apresentados na tabela 37 abaixo:

Tabela 37: Vazão Observada e Vazão Calculada

Cota (H)	Q Obs	$H - H_0$	Q Calculada	$(Q_{Obs} - Q_{Calc})^2$
0,19	6,30	0,09	6,842370237	0,29417
0,83	12,15	0,73	11,12841413	1,04364
0,89	12,99	0,79	11,33454102	2,74054
0,87	10,72	0,77	11,26720979	0,29944
0,90	10,75	0,80	11,36771701	0,38157
0,88	11,64	0,78	11,30104107	0,11489
0,87	12,56	0,77	11,26720979	1,67131
0,85	12,78	0,75	11,19852236	2,50107
0,98	13,35	0,88	11,62226919	2,98505
0,88	11,48	0,78	11,30104107	0,03203
1,15	13,67	1,05	12,10915600	2,43623
0,26	7,86	0,16	7,821069051	0,00152
0,11	4,76	0,01	4,106637224	0,42688
0,23	7,65	0,13	7,452695765	0,03893
0,22	6,69	0,12	7,315370811	0,39109
0,58	9,11	0,48	10,09546286	0,97114
0,28	7,83	0,18	8,038065025	0,04329
0,64	13,29	0,54	10,37556201	8,49395
0,73	9,77	0,63	10,75392136	0,96810
0,59	9,40	0,49	10,14394561	0,55346
0,65	9,47	0,55	10,41989224	0,90230
0,64	8,97	0,54	10,37556201	1,97560
0,60	8,97	0,50	10,19167465	1,49249
0,61	9,54	0,51	10,23867645	0,48815
0,60	9,61	0,50	10,19167465	0,33835
0,58	8,96	0,48	10,09546286	1,28928

Os valores encontrados na tabela acima são aplicados na equação 2.33, p. 41, para calcular o coeficiente de determinação D^2 .

O valor calculado foi $D^2 = 0,7672$, logo, como quanto mais próximo de 1 o coeficiente estiver melhor a aproximação, o resultado demonstra uma boa aproximação dos dados calculados.

4.6.4 Gráficos Gerados pela *Home Page*

A página dos cálculos (figura 49) gera automaticamente um arquivo de texto (nome: *grafico-dia-mes-ano.txt*) onde são gravados os valores da cota, da vazão observada e da vazão calculada.

Esse arquivo é utilizado para gerar os gráficos através do programa “*Gnuplot*”, o qual, desenha o gráfico da regressão linear (figura 51) e exponencial (figura 52) a partir dos dados observados, e o da Curva-Chave (figura 53) com os dados calculados pelo método dos mínimos quadrados. Os gráficos são acionados através do botão “Desenhar Gráfico” posicionado no rodapé

da 2ª parte da página dos cálculos (figura 50).

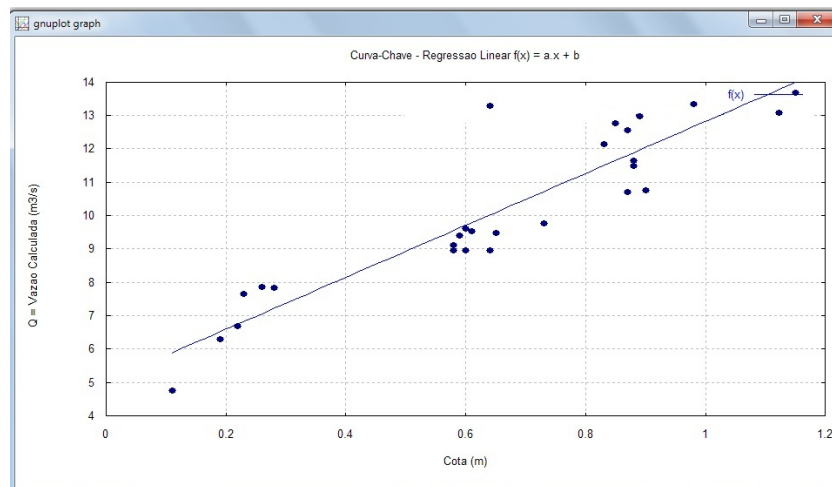


Figura 51: Gráfico da Regressão Linear - Pelo *Gnuplot*

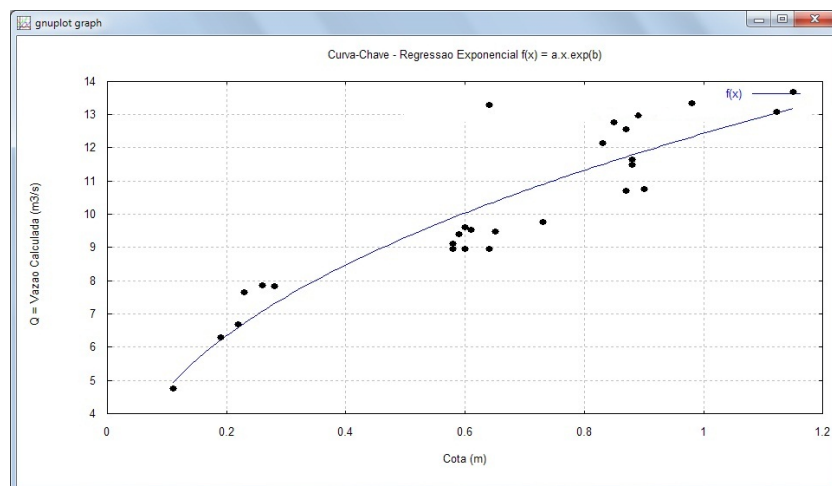


Figura 52: Gráfico da Regressão Exponencial - Pelo *Gnuplot*

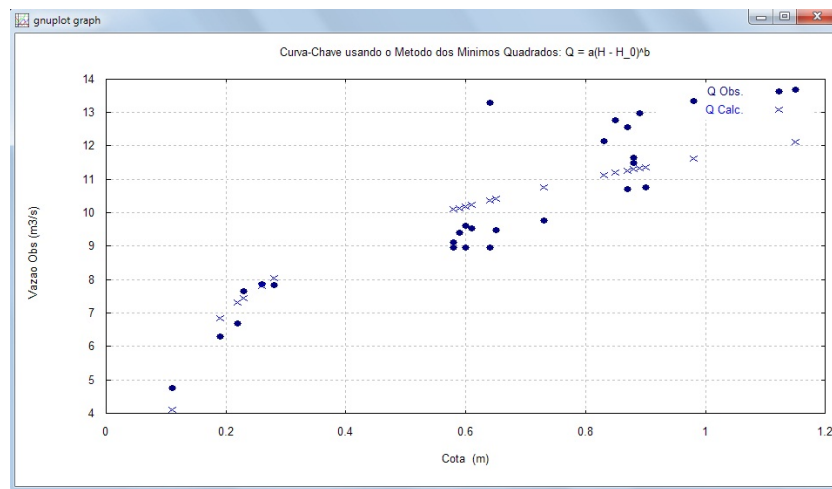


Figura 53: Gráfico da Curva-Chave - Dados Calculados pelo M.M.Q. - $H_0 = 0,1$

A figura 54 apresenta a Curva-Chave com os dados calculados pelo M.M.Q. e uma cota inicial de $H_0 = 0,0$. Pode-se notar uma melhora no ajuste comparado com o gráfico desenhado com a cota inicial $H_0 = 0,1$ (figura 53), assim como no coeficiente de determinação que passou para $D^2 = 0,82$.

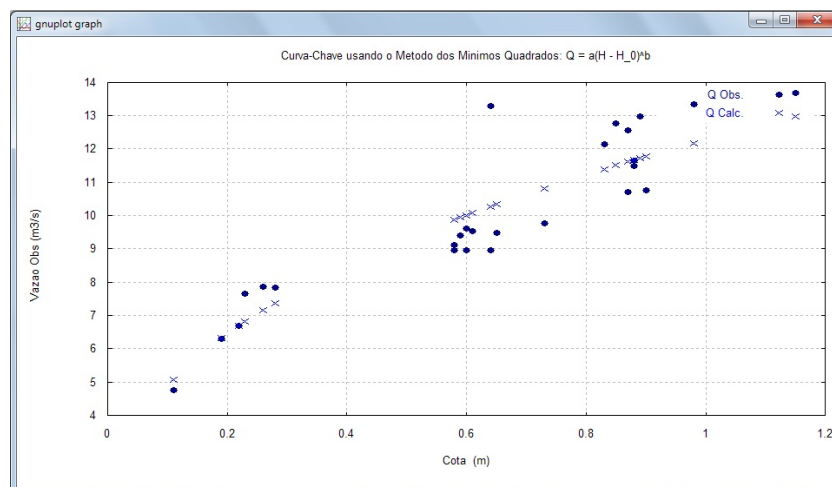


Figura 54: Gráfico da Curva-Chave - Dados Calculados pelo M.M.Q. - $H_0 = 0,0$

5 CONCLUSÕES FINAIS

5.1 Conclusões sobre a parte eletrônica do LDM

A parte eletrônica do LDM obteve um bom comportamento. Os componentes eletrônicos selecionados para compor a placa de circuito impresso fizeram sua parte, permitindo um funcionamento correto e não apresentando nenhuma falha durante todos os ensaios.

O microcontrolador PIC18f452 respondeu corretamente ao programa gravado em sua memória, não apresentando nenhuma falha durante seu funcionamento.

O processo de gravação do arquivo no cartão SD/MMC funcionou corretamente, não apresentando nenhum erro de gravação dos dados. Sua formatação inicial se efetuou normalmente e o LDM indicou, via um sinal sonoro, quando o cartão não estava presente.

Os circuitos integrados *DS 1302* - relógio programável e *DS 18B20* - termômetro programável, cumpriram com a suas funções, bem com o teclado 4X4 (16 teclas), que, após corrigido o problema de repetição das teclas (seção 1.4, p. 6) funcionou normalmente.

O *display* LCD 16x2 não apresentou nenhuma falha em seu funcionamento, permitindo uma boa visualização dos dados apresentados.

Com isso, conclui-se que os componentes eletrônicos selecionados satisfazem ao projeto e a parte eletrônica do LDM está correta.

5.2 Conclusões sobre a programação do microcontrolador do LDM

Apesar da programação em “PICBasic” utilizar 28.678 bytes (29 *Kb*) dos 32 *Kb* disponíveis no microcontrolador e 1.222 bytes (1 *Kb*) usados pelas variáveis do programa, o programa obteve um bom comportamento, seu desenvolvimento durante as coletas, sem falhas, mostraram que a sequência selecionada para a medição auxiliam na utilização do molinete e na rapidez da coleta dos dados.

Os comandos de abertura e gravação dos dados no arquivo “.TXT” foram eficazes, bem como as linhas de comandos que efetuavam os registros de cada coleta. o arquivo “MOLINETE.TXT”, em todos os ensaios efetuados, estava seguro e com todos os dados simulados.

A programação do TIMER0 e TIMER1 para a correção do problema do *duty cycle* (seção 1.4, p. 6), permitiu ao microcontrolador um controle correto da frequência da hélice, efetuando a visualização instantânea da velocidade pontual e, ao final da medição na vertical, o cálculo da velocidade média.

Portanto, conclui-se que a programação do microcontrolador está correta e em perfeita sintonia com a sequência de coleta dos dados.

5.3 Conclusão sobre os Ensaios do LDM

De acordo com os resultados estatísticos dos ensaios efetuados no arroio do Pocinho (Guarapuava/Pr) e no rio Toledo (Toledo/Pr), o LDM obteve um resultado positivo em todas as coletas, pois não existiram diferenças estatísticas significativas ao nível de 95% de confiança entre as médias das velocidades e das vazões, comparado com as leituras feitas através do contador de pulsos.

Sua grande vantagem em relação ao contador de pulsos é a possibilidade de verificação instantânea da velocidade pontual, agilizando as anotações em planilhas e evitando a utilização de planilhas de cálculo (MS-Excel) para determinar as velocidades, áreas e vazões.

No ensaio realizado no Canal da Piracema da Itaipu Binacional, onde o LDM foi comparado com os equipamentos ADCP, também obteve um resultado positivo, apesar da diferença nos valores da vazão e da área (na área a diferença se deu pela medição dos recuos à esquerda e à direita pelo equipamento ADCP) a velocidade média calculada pela razão entre a vazão e a área ficaram estatisticamente iguais e, não existiu diferença estatisticamente significativa ao nível de 95% de confiança para as velocidades médias nas verticais calculadas pelo LDM e pelo equipamento *RS – M9*.

Logo, conclui-se que nos ensaios de campo, o LDM cumpriu perfeitamente com a sua função de substituto do contador de pulsos.

5.4 Conclusões sobre a Interpolação Multiquadrática

O “MQI” se apresentou como um método simples e produziu um resultado satisfatório para a aproximação das vazões em cada pontos das coordenadas amostrais. O método utiliza a função de base radial para interpolar a solução numérica e a matriz dos coeficientes não necessita de

muita implementação computacional. A simplicidade da formulação numérica e sua facilidade de implementação, tornam o “MQI” uma alternativa atrativa para a solução de aproximação dos pontos no espaço amostral.

5.5 Conclusões sobre as *Home Pages* do LDM

As *home pages* **Visualização dos Dados Coletados pelo LDM** e **Cálculo da Curva-Chave** ficaram com uma aparência agradável, de fácil manipulação, rápida e seus testes comprovaram sua eficiência nos cálculos, mostrando que a linguagem PHP tem total compatibilidade com cálculos matemáticos e geração de gráficos.

A geração dos arquivos “**dados_tratados-“dia”-“mês”-“ano”.txt**, **grafico-“dia”-“mês”-“ano”.txt** e o arquivo com os dados das cotas e vazões em vários períodos, permitem ao usuário uma futura manipulação nos dados, nas próprias *home pages* ou em uma planilha de cálculo.

Os gráficos gerados pelo programa “Gnuplot” ficaram com uma boa aparência e servem de referência aos usuários para a geração da curva-chave.

Os cálculos efetuados pelo método dos mínimos quadrados demonstraram uma excelente aproximação dos dados na utilização da equação $Q = a(H - H_0)^b$ para determinação da curva-chave.

Com isso, conclui-se que as *home pages* criadas, colaboram e complementam o projeto do LDM, permitindo ao usuário a sua utilização sem a necessidade de instalação de programas.

5.6 Conclusão Final sobre o LDM

O **Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos** (LDM) é um equipamento útil, de fácil manipulação, seguro na coleta dos dados, eficiente na medição e na leitura da frequência enviadas pelo molinete hidrométrico, confiável e prático para medição de dados de vazão de rios e para os cálculos da determinação da Curva-Chave.

Funcionará em qualquer tipo de molinete hidrométrico que possua contador de pulsos e hélice.

Substituirá perfeitamente o contador de pulsos e com baixo custo, fazendo com que os molinetes hidrométricos continuem ainda em uso pelos hidrometristas.

Conclui-se então, que, “...a busca por melhorias na instrumentação e nas técnicas de me-

dição..." comentado por Piton (2007), permitiu que surgisse a ideia do projeto de um equipamento que atualize o processo de medição da vazão de rios através dos molinetes hidrométricos e substitua o contador de pulsos. Esse equipamento é o Leitor Digital para Molinetes Hidrométricos - LDM.

Referências

- AMORIM, J. C. et al. *Comparativo dos Medidores de Vazão Acústicos FLOWTRACKER e ADP (S5)*. Maceió-AL: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.
- ANA. *Agência Nacional de Águas - Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional*. Brasília - DF: Centro de Documentação Federal, 2007.
- ANA. *Agência Nacional de Águas - Inventário das estações fluviométricas*. 2009. [Online; acesso em Janeiro-2011]. Disponível em: <www.ana.gov.br/bibliotecavirtual>.
- ANA. *Agência Nacional de Águas - Medição de descarga líquida em grandes rios: manual técnico*. Brasília - DF: Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica, 2009. 88 p.
- ANDRIOLO, M. V. *Análise de Métodos não Lineares para Previsão de Vazões Médias Mensais*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental - UTFPR Curitiba Pr, 2006.
- ANGST, F. *Estudos Hidrossedimentológicos e de Qualidade da Água no rio Piquiri*. Dissertação (Mestrado) — UNIOESTE, 2008.
- BACK, A. J. *Medidas de Vazão com Molinete Hidrométrico e Coleta de Sedimentos em Suspensão*. Florianópolis - SC: EPAGRI - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 2006. Boletim Técnico nº 130.
- BERTOLDO, F.; RIGHES, A. A. *Curva-Chave do Arroio da Bacia Escola Urbana, em Santa Maria - RS*. Santa Maria - RS: Disc. Scientia - Ciências Naturais e Tecnológicas, 2004. 11-29 p. Nro 1.
- BURDEN, R. L.; FAIRES, J. D. *Análise Numérica*. 1ª. ed. São Paulo - SP: Pioneira Thomson Learning, 2003.
- CAMARGO, A. P. *Desenvolvimento de um medidor eletrônico de vazão utilizando célula de carga*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
- CARVALHO, T. M. Técnicas de medição de vazão por meios convencionais e não convencionais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 01, p. 73–85, 2008.
- CHEVALLIER, P. *Aquisição e Processamento de Dados*. In: TUCCI, C. E. M. - *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre - RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 485-525 p.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. *Applied Hydrology*. New York - USA: McGrawHill Book Company, 1988.
- COLLISCHONN, W. *Introduzindo Hidrologia*. Porto Alegre - RS: IPH - Instituto de Pesquisa Hidráulica - UFRS, 2003. Disponível em: <<http://galileu.iph.ufrgs.br/collischonn/>>.
- CORREA, I. S. Metodologia para o cálculo de vazão de uma seção transversal a um canal fluvial. *Instituto de Geociências - UFRGS*, 2009.
- DENARDIN, G. W. *Microcontroladores*. Pato Branco - Pr: UTFPr, 2012. [On line; acesso em Agosto 2012 - Apostila Livre]. Disponível em: <http://pessoal.utfpr.edu.br/gustavo/apostila/_micro.pdf>.

DEVRIES, J.; HROMADKA, T. V. Computer models for surface water. p. 858–864. In: Handbook of Hydrology, Cap 21.

DOOGE, J. C. I. *Logistics and Benefits of Using Mathematical Models of Hydrologic and Water Resources Systems*. 1ª. ed. Pisa, Italy: IIASA Proceeding Series, 1981. 1-23 p.

FILHO, M. C. et al. Hidrometria aplicada: medição de vazão da seção 2 do rio cascavel. *Revista Ambiente*, Guarapuava - PR, v. 5, p. 333–342, 2009.

FIZIOLA, N.; GUIMARAES, V.; GUYOT, J. L. *Medição de Vazão em Grandes Rios com o uso do Perfilador Doppler - Acústico de Corrente*. Manaus - AM: Symposium Hydrological and Geochemical Processes Large Scale River Basin, 1999.

GAMARO, P. E. M. *ADCP: Problemas ou Solução*. Manaus - AM: Symposium Hydrological and Geochemical Processes Large Scale River Basin, 1999.

GAMARO, P. E. M.; MALDONADO, L. H.; LIMA, K. A. Comparison of discharge measurements acquired with adcp in a moving vessel and fixed vessel techniques in amazon river basin. *River Flow*, Taylor and Francis Group London, v. 1, p. 1273–1283, 2012.

GIORDANI, F. *Desenvolvimento de um Sistema de Aquisição e Armazenamento de Dados Microcontrolado*. Dissertação (Mestrado) — UNIOESTE, 2008.

GUERRA, F. A. *Análise de Métodos de Agrupamento para Treinamento de Redes Neurais de Base Radial aplicadas à Identificação de Sistemas*. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas - PUC Curitiba Pr, 2006.

HARDY, R. L. Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces. *Journal of Geophysics Research*, v. 76, p. 1905–1915, 1971.

HENAO, C. A.; CARDONA, E. D. *Manejo de una memoria SD/MMC con un PIC16F87X*. Colômbia: Scientia Et Technica, 2010. 316-320 p. Nro 44.

HOLTZ, A. C. T. *Precipitação*. In: PINTO, N. L. S. et al - *Hidrologia Básica*. São Paulo - SP: Edgard Blücher, 2000. 8-35 p.

HON, Y. C. et al. A multiquadratic solution for the shallow-water equations. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 125, p. 524–533, 1999.

IBIAPINA, A. V. et al. *Evolução da hidrometria no Brasil*. 2003. [Online; acesso em Julho-2010]. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/oestado/texto/121-138.html>>.

JOHNSTONE, D. *Current Meter Calibration Equations: A review of the adequacy of limited-range equation for New Zealand requirements*. Christchurch, New Zealand: National Institute Water & Atmospheric Research Ltd, 2008.

KAN, A. *Estimativa de Evapotranspiração Real com Base na Análise de Recessão dos Hidrogramas*. Tese (Doutorado) — UFPR - PPGMNE, 2005.

KAVISKI, E. *Métodos de regionalização de eventos e parâmetros hidrológicos*. Dissertação (Mestrado) — UFPR Curitiba Pr, 1992.

KNAPIK, H. G. et al. Qualidade da Água do rio iguaçu: Diferenças conceituais entre os modelos qual2e e qual2k. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 16, p. 75–88, 2011.

KUCHLER, O. A. et al. Sistemas de aquisição de dados pluviométricos. *ENEGEP 2010*, São Carlos - SP, 2010.

- LION, K. S. *Instrumentation in Scientific Research*. New York - U.S.: McGraw-Hill, 1959.
- LOPES, J.; JR B.P.F.; CONEJO, J. B. *Simulação hidrológica: Aplicações de um modelo simplificado*. Fortaleza - CE: III Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 1981. 42-62 p.
- LOTZE-CAMPEN, H. Hydrology models. *Biophysical models*, TCM53, 2009.
- MAIDMENT, D. R. *Handbook of Hydrology*. New York - USA: McGrawHill Book Company, 1993.
- MARTINS, J. A. *Escoamento superficial*. In: PINTO, N. L. S et al - *Hidrologia Básica*. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher, 2002. 36-42, 56-66 p.
- MICROCHIP. *Datasheet - Especificações Técnicas*. Microchip Technology Inc., 2006. [Online; acessos em 2010/2011/2012]. Disponível em: <site:www.microchip.com>.
- MIGUEZ, M. G.; MASCARENHAS, F. C. B. Modelação matemática de cheias urbanas através de um esquema de células de escoamento. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 4, p. 119–140, 1999.
- ONS. *Operador Nacional do Sistema - Evaporações Líquidas nas Usinas Hidrelétricas - Manual Livre - Disponível em <http://www.ons.org.br/>*. 2004.
- PAIVA, L. E. D.; MORAES, M. F.; LARIVOIR, J. C. V. M. *Estimativa da vazão através da Curva-Chave para o rio Paraibuna em Juiz de Fora (MG)*. Maceió-AL: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.
- PINA, F. J. V. et al. Implementación de red modbus en microcontroladores pic para medición de flujo. *Aguascalientes - México*, p. 53–56, 2007. Nro 33.
- PINHEIRO, V. B.; NAGHETTINI, M. Calibração de um modelo chuva-vazão em bacias sem monitoramento fluviométrico a partir de curvas de permanência sintéticas. *RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15, p. 143–156, 2010.
- PINTO, N. L. S. *Água Subterrâneas*. In: PINTO, N. L. S. et al - *Hidrologia Básica*. 7ª. ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher, 2000. 68-91.
- PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. *Medidas de Vazão*. In: PINTO, N. L. S. et al - *Hidrologia Básica*. 7ª. ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher, 2000. 183-204 p.
- PINTO, N. L. S. et al. *Hidrologia Básica*. 7ª. ed. São Paulo - SP: Editora Edgard Blücher, 2000.
- PITON, C. L. *Evolução Tecnológica nas Medições de Vazões em Rios*. Dissertação (Mestrado) — Faculdade Dinâmica de Cataratas - UDC, 2007.
- PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z. *Apostila de Introdução à Hidrologia - Ciclo Hidrológico e Balanço Hídrico*. Curso de Engenharia Florestal - UNEMAT - Livre para Baixar, 2008. [Online; acesso em Março-2010]. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br>>.
- PORTO, R. L. L.; FILHO, K. Z.; SILVA, R. M. *Apostila de Medição de Vazão e Curva-Chave*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Livre para Baixar, 2008. [Online; acesso em outubro-2008]. Disponível em: <<http://files.engflorestal.webnode.com.br>>.
- REYES, C. A. *Microcontroladores PIC - Programación en Basic*. 3ª. ed. Quito - Ecuador: Rispergraf, 2008.
- RICARDO, M. et al. Análise e aplicação de perfiladores acústicos doppler para medição de vazão em centrais hidrelétricas. *Anais do VI Simpósio Brasileiro sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas*, Belo Horizonte, 2008.

- ROQUE, W. L. *Introdução ao Cálculo Numérico: um texto integrado com o DERIVE*. 1^a. ed. São Paulo - SP: Editora Atlas, 2000. 247 p.
- RUGGIERO, M. A.; LOPES, V. L. R. *Cálculo Numérico - Aspectos Teóricos e Computacionais*. 2^a. ed. São Paulo - SP: Makron Books, 1997.
- SANTOS, I. et al. *Hidrometria Aplicada*. Curitiba - Pr: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, 2001. 371 p.
- SARETTA, E. *Desenvolvimento de um sistema para ensaios de molinetes*. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2013.
- SEIA. *Sistema Estadual de Informações Ambientais e Recursos Hídricos - BA*. 2010. [Online; acesso em Agosto-2010]. Disponível em: <<http://www.seia.ba.gov.br/monitoramento-ambiental/hidrom-trico>>.
- SILVEIRA, A. L. L. *Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica*. In: TUCCI, C. E. M. - *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Porto Alegre - RS: Editora da UFRGS/ABRH, 2002. 36-51 p.
- SINHA, S. K. Meteorological objective analysis multiquadratic interpolation scheme over india and adjoining region. *Atmosfera*, v. 15, p. 209–222, 2002.
- SOUZA, D. J. *Desbravando o PIC - Ampliado e Atualizado para PICF628A*. 11^a. ed. São Paulo-SP: Editora Érica, 2007.
- SOUZA, V. A. *Conhecendo o Proteus*. São Paulo - SP: Cerne - Conhecimento para o Desenvolvimento, 2011. [Online; acesso em 2011 - Apostila Livre para Baixar]. Disponível em: <<http://www.cerne-tec.com.br>>.
- STUDART, T.; CAMPOS, N. *Hidrologia Aplicada*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - UFC - Ceará: Apostila de Hidrologia - Capítulo 1, 2004. Apostila livre.
- TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3^a. ed. Porto Alegre - RS: Editora UFRGS, 2002.
- TUCCI, C. E. M. *Modelos Hidrológicos*. Edição revisada e ampliada. Porto Alegre - RS: Editora UFRGS, 2005.
- TULIO, S.; GAMARO, P. E. M.; MALDONADO, L. H. *Avaliação do uso do medidor de vazão Doppler com feixe vertical em levantamentos batimétricos*. Maceió-AL: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.
- WMO. *World Meteorological Organization - Guide to Hydrological Practices - Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and other Applications - Nº 168*. 1994.
- WMO. *World Meteorological Organization - Guide to Hydrological Practices - From Measurement to Hydrological Information - Nº 168*. 2011.
- ZANCO, W. S. *Microcontroladores Pic - Técnicas de Software e Hardware para Projetos de Circuitos Eletrônicos*. 2^a. ed. São Paulo- SP: Editora Érica, 2008.

APÊNDICE A - Demonstração da Equação $A = c_1 = a_0 = \bar{Y} - B\bar{X}$

$$\begin{aligned}
 A &= c_1 = a_0 = \bar{Y} - B\bar{X} \\
 A &= \bar{Y} - \left(\frac{\sum YX - m\bar{X}\bar{Y}}{\sum X^2 - m(\bar{X})^2} \right) \cdot \bar{X} \\
 A &= \frac{\sum y}{m} - \left(\frac{\sum yx - m \frac{\sum x}{m} \frac{\sum y}{m}}{\sum x^2 - m \left(\frac{\sum x}{m} \right)^2} \right) \cdot \frac{\sum x}{m} \\
 A &= \frac{\sum y}{m} - \frac{\sum x \sum yx - \sum x \sum x \frac{\sum y}{m}}{m \sum x^2 - (\sum x)^2} \\
 A &= \frac{m \sum x^2 \sum y - (\sum x)^2 \sum y - m \sum x \sum yx + (\sum x)^2 \sum y}{m \left(m \sum x^2 - (\sum x)^2 \right)} \\
 A &= \frac{m \sum x^2 \sum y - m \sum x \sum yx}{m \left(m \sum x^2 - (\sum x)^2 \right)} \\
 A &= c_1 = a_0 = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum yx}{m \sum x^2 - (\sum x)^2}
 \end{aligned}$$

c.q.d.

APÊNDICE B - Spline Cúbica Interpolante

Uma spline cúbica é uma função polinomial por partes, contínua, onde cada parte, $s_k(x)$ é um polinômio de grau 3 no intervalo $[x_{k-1}, x_k]$, $k = 1, 2, \dots, n$.

Um polinômio cúbico genérico tem quatro constantes, de modo que o procedimento com splines cúbicos tem a flexibilidade suficiente para assegurar que o interpolador não só seja continuamente derivável no intervalo, mas também que ele tenha uma derivada de 2ª ordem contínua (BURDEN; FAIRES, 2003).

Seja $f(x)$ uma função contínua tabelada nos pontos x_i , $i = 1, 2, 3, \dots, n$, $S_3(x)$ será considerada uma spline cúbica interpolante se existirem n polinômios de grau 3, tais que:

$$i) S_3(x) = s_k(x) \text{ para } x \in [x_{k-1}, x_k], k = 1, \dots, n$$

$$ii) S_3(x_i) = f(x_i), i = 0, 1, \dots, n$$

$$iii) s_k(x_k) = s_{k+1}(x_k), k = 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$iv) s'_k(x_k) = s'_{k+1}(x_k), k = 1, 2, \dots, (n-1)$$

$$v) s''_k(x_k) = s''_{k+1}(x_k) \quad k = 1, 2, \dots, (n-1)$$

Para simplificar a notação, escreve-se $s_k(x) = a_k(x - x_k)^3 + b_k(x - x_k)^2 + c_k(x - x_k) + d_k$, $k = 1, 2, \dots, n$.

Então, o cálculo de $S_3(x)$ exige a determinação de 4 coeficientes para cada k , num total de $4n$ coeficientes: $a_1, b_1, c_1, d_1, \dots, a_n, b_n, c_n, d_n$.

De acordo com a definição para cada $s_k(x)$, a condição (i) está satisfeita.

Para a condição (ii) tem-se que $s_k(x_k) = d_k = f(x_k)$ e fazendo $h_k = x_k - x_{k-1}$, tem-se que $-a_{k+1}h_{k+1}^3 + b_{k+1}h_{k+1}^2 - c_{k+1}h_{k+1} + d_{k+1} = f(x_k)$, satisfazendo a condição (iii), para $(n-1)$ equações.

Para as condições (iv) e (v), faz-se as derivadas de $s_k(x)$, obtendo-se $s'_k(x) = 3a_k h^2 + 2b_k h + c_k$ e $s''_k(x) = 6a_k h + 2b_k$.

Observando que $s''_k(x_k) = 2b_k$, pode-se escrever que $b_k = \frac{s''_k(x_k)}{2}$.

Se, $a_k = \frac{s''_k(x_k) - s''_k(x_{k-1})}{6h_k}$, chamando $s''_k(x_k) = g_k$, tem-se $a_k = \frac{(g_k - g_{k-1})}{6h_k}$.

Substituindo, $b_k = \frac{g_k}{2}$ e, $c_k = \left[\frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} + \frac{2h_k g_k + g_{k-1} h_k}{6} \right]$, com $f(x_k) = y_k$ e $d_k = y_k$.

Como $s'_k(x_k) = c_k$, fazendo as substituições e agrupando os termos semelhantes, obtém-se o sistema:

$$h_k g_{k-1} + 2(h_k + h_{k+1})g_k + h_{k+1}g_{k+1} = 6 \left[\frac{y_{k+1} - y_k}{h_{k+1}} - \frac{y_k - y_{k-1}}{h_k} \right]$$

que é um sistema de equações lineares com $(n-1)$ equações e $(n+1)$ incógnitas: g_0, g_1, \dots, g_n

com $Ax = b$, onde $x = [g_0, \dots, g_n]^T$ (RUGGIERO; LOPES, 1997).

A matriz A fica na forma,

$$A = \begin{pmatrix} h_1 & 2(h_1 + h_2) & h_2 & & & \\ & h_2 & 2(h_2 + h_3) & h_4 & & \\ & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & \cdot & \cdot & \cdot & \\ & & & h_{n-1} & 2(h_{n-1} + h_n) & h_n \end{pmatrix}_{(n-1) \times (n+1)}$$

O vetor b fica,

$$b = \begin{pmatrix} \frac{y_2 - y_1}{h_2} & - & \frac{y_1 - y_0}{h_1} \\ \frac{y_3 - y_2}{h_3} & - & \frac{y_2 - y_1}{h_2} \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \cdot & & \cdot \\ \frac{y_n - y_{n-1}}{h_n} & - & \frac{y_{n-1} - y_{n-2}}{h_{n-1}} \end{pmatrix}_{(n-1) \times 1}$$

A matriz A é estritamente dominante em diagonal, assim, o sistema tem uma única solução para g_0, g_1, \dots, g_n .

APÊNDICE C - Fontes do Programa do Microcontrolador PIC18F452

```

*****
** Name : MOLINETE.BAS
** Author : Marcelo Salmon / Marcos Freitas de Moraes
** Notice : Copyright (c) 2011 Master Informatica
** All Rights Reserved
** Date : 14/09/2011
** Version : 1.0.177
** Notes : UFPr - Lilliana M. Gramani
** Unioeste - Marcos Freitas de Moraes
*****

-----
; Added by Fuse Configurator
; Use the Fuse Configurator plug-in to change these settings

Device = 18F452

'Config_Start
; OSC = HS :HS oscillator
; OSCS = OFF :Oscillator system clock switch option is disabled (main oscillator is source)
; PWRT = OFF :PWRT disabled
; BOR = On :Brown-out Reset enabled
; BORV = 20 :VBOR set to 2.0V
; WDT = On :WDT enabled
; WDTPS = 128 :1:128
; CCP2MUX = On :CCP2 input/output is multiplexed with RC1
; STVR = On :Stack Full/Underflow will cause RESET
; LVP = On :Low Voltage ICSP enabled
; Debug = OFF :Background Debugger disabled. RB6 and RB7 configured as general purpose I/O pins.
; CP0 = OFF :Block 0 (000200-001FFFh) not code protected
; CP1 = OFF :Block 1 (002000-003FFFh) not code protected
; CP2 = OFF :Block 2 (004000-005FFFh) not code protected
; CP3 = OFF :Block 3 (006000-007FFFh) not code protected
; CPB = OFF :Boot Block (000000-0001FFFh) not code protected
; CPD = OFF :Data EEPROM not code protected
; WRT0 = OFF :Block 0 (000200-001FFFh) not write protected
; WRT1 = OFF :Block 1 (002000-003FFFh) not write protected
; WRT2 = OFF :Block 2 (004000-005FFFh) not write protected
; WRT3 = OFF :Block 3 (006000-007FFFh) not write protected
; WRTC = OFF :Configuration registers (300000-3000FFh) not write protected
; WRTB = OFF :Boot Block (000000-0001FFFh) not write protected
; WRTD = OFF :Data EEPROM not write protected
; EBTR0 = OFF :Block 0 (000200-001FFFh) not protected from Table Reads executed in other blocks
; EBTR1 = OFF :Block 1 (002000-003FFFh) not protected from Table Reads executed in other blocks
; EBTR2 = OFF :Block 2 (004000-005FFFh) not protected from Table Reads executed in other blocks
; EBTR3 = OFF :Block 3 (006000-007FFFh) not protected from Table Reads executed in other blocks
; EBTRB = OFF :Boot Block (000000-0001FFFh) not protected from Table Reads executed in other blocks
'Config_End

;***** End of Fuse Configurator Settings *****
;-----

Xtal = 4
Optimizer_Level = 3
All_Digital = TRUE
ON_hardware_interrupt GOIO 11M8KU ; habilita as interrupções e quando houver uma vai para rotina

'configura porta RS232

Hserial_Baud = 4800
Hserial_RCSTA = %10010000
Hserial_TXSTA = %00100000

'Lcd

Declare LCD_DTPin PORTD.4
Declare LCD_RSPin PORTD.2
Declare LCD_ENPin PORTD.3

'RTC PINOS

Symbol CLK = PORTA.0 'clock
Symbol DTA = PORTA.1 'Data
Symbol RST = PORTA.2 'Reset

'CARTAO SD PINOS

Symbol SD_CS = PORTC.2 'SPI CS to SD CS (SD pin 1)
Symbol SD_DI = PORTC.3 'SPI DO to SD DI (SD Pin 2)
Symbol SD_CLK = PORTC.5 'SPI CLK to SD CLK (SD Pin 5)
Symbol SD_DO = PORTC.4 'SPI DI to SD DO

'SENSOR DE TEMP

Symbol DQ = PORTD.0 'Place the DS1820 on bit 1 of PORTA

' Variaveis do timer0

Symbol T0PS0 = TOCON.0 ' Timer0 Prescaler Select bit
Symbol T0PS1 = TOCON.1 ' Timer0 Prescaler Select bit
Symbol T0PS2 = TOCON.2 ' Timer0 Prescaler Select bit
Symbol T0PSA = TOCON.3 ' Timer0 Prescaler Assignment bit
Symbol T0SE = TOCON.4 ' Timer0 Source Edge Select bit
Symbol T0CS = TOCON.5 ' Timer0 Clock Source Select bit
Symbol T0BBIT = TOCON.6 ' Timer0 8-bit/16-bit Control bit
Symbol TMR0ON = TOCON.7 ' Timer0 on/off control bit

Symbol RBIF = INTCON.0 ' RB Port Interrupt Flag
Symbol INTOIF = INTCON.1 ' INTO External Interrupt Flag
Symbol TMR0IF = INTCON.2 ' TMR0 overflow Interrupt Flag
Symbol RBIE = INTCON.3 ' RB Port Change Interrupt Enable
Symbol INTOIE = INTCON.4 ' INTO External Interrupt Enable
Symbol TOIE = INTCON.5 ' TMR0 overflow Interrupt Enable
Symbol PEIE = INTCON.6 ' Peripheral Interrupt Enable
Symbol GIEL = INTCON.6 ' Low priority peripheral interrupt
Symbol GIE = INTCON.7 ' Global Interrupt Enable
Symbol GIEH = INTCON.7 ' Enable all high priority interrupts

' Variaveis Timer1

```

```

Symbol TMR1ON = TICON.0      ' Timer1 ON
Symbol TMR1CS = TICON.1      ' Timer1 Clock Source Select
Symbol NOT_T1SYNC = TICON.2  ' Timer1 External Clock Input Synchronization Control
Symbol T1OSCEN = TICON.3     ' Timer1 Oscillator Enable Control
Symbol TICKPS0 = TICON.4     ' Timer1 Input Clock Prescale Select bits
Symbol TICKPS1 = TICON.5     ' Timer1 Input Clock Prescale Select bits
Symbol RD16 = TICON.7        ' 16-bit Read/Write Mode Enable bit
Symbol TMR1IF = PIR1.0       ' TMR1 Overflow Interrupt Flag bit
Symbol TMR1HIGH = TMR1H      '
Symbol TMR1LOW = TMR1L.word  '

'BIBLIOTECA MOLINETE
Include "molinetev3_lib.pbp"

'variaveis e seus tipos
Dim response As Byte
Dim n1 As Float
Dim Rr As Float
Dim tempo As Word
Dim vel As Float
Dim velm As Float
Dim freq As Float
Dim a As Float
Dim b As Float
Dim al As Float
Dim bl As Float
Dim n As Float
Dim SECONDS As Byte
Dim MINUTES As Byte
Dim HOURS As Byte
Dim DATE As Byte
Dim MONTH As Byte
Dim YEAR As Byte
Dim DAY As Byte
Dim TEMPRD As Byte
Dim TEMPERATURE As Word
Dim M As Word
Dim Dum As Byte
Dim dumth As Byte
Dim dumtl As Byte
Dim reg As Byte
Dim c As Byte
Dim D As Byte
Dim DADOS[20] As Byte
Dim KEY As Byte
Dim nv As Byte
Dim i As Word
Dim lr As Float
Dim dv As Float
Dim pm As Float
Dim qv As Byte
Dim pf As Float
Dim cota As Float
Dim pfa As Float
Dim pfb As Float
Dim pfc As Float
Dim prd As Float
Dim pfe As Float
Dim pff As Float
Dim pfad As Float
Dim vela As Float
Dim velb As Float
Dim velc As Float
Dim veld As Float
Dim vele As Float
Dim velf As Float
Dim cv As Float
Dim cv1 As Float
Dim margesq As Float
Dim margdir As Float
Dim profunesq As Float
Dim profundir As Float
Dim al_esq As Float
Dim al_dir As Float
Dim contador As Float
Dim A1 As Float
Dim V As Float
Dim aa As Float
Dim bb As Float
Dim AIT As Float
Dim vt As Float
Dim velmt As Float
Dim segundos As Byte
Dim verifica As Word
Dim verifi1 As Word
Dim tm As Word
Dim X As Word
'Preparando o ambiente

INIT0:
DelayMS 100

'configuracoes do timer0 para contar 1s
TOPS2 = 0
TOPS1 = 1
TOPS0 = 1
PSA = 0
TOCS = 0
TO8BIT = 0
TMR0ON = 1
TOTE = 1
GIE = 1

TMR1ON = 1
TMR1CS = 1

Rr=0
D=1
M=0
C=0
CV=dv
qv=0
X = "P"
a=0.26458
b=0.02393
n=2.098
al=0.26458
bl=0.02393
nl=2.098
segundos=0

Print $FE,$40,$06,$09,$09,$06,$00,$00,$00,$00 'símbolo de graus na posicao 0 caracter
Print $FE,$48,$10,$10,$10,$14,$12,$1F,$02,$04 'símbolo do enter na posicao 1 caracter
Print $FE,$50,$18,$04,$18,$04,$18,$00,$00,$00 'símbolo do cubico m³
Print $FE,$58,$1C,$04,$18,$10,$1C,$00,$00,$00 'símbolo do quadrado m
Print $FE,$70,$18,$19,$18,$18,$19,$1C,$0F,$07
Print $FE,$78,$03,$13,$18,$18,$13,$07,$1E,$1C

INIT1:
Print At 1,1,6
Print At 1,1,7
Print At 1,3," Unioeste UFRP"
Print At 2,1,"MFM / LMG / MRS "
DelayMS 2500
Print At 2,1," LDM V3 "
Gosub DS18B20_INI
Gosub CARTAO
Gosub OPEN_NEW_FILE
Gosub DS18B20_READ
Sound PORTC.1, [119,10,120,10]
GOTO INICIA_MEDICAO

```

```

'Programa Principal
'Equação do Molinete
'v = 0,01641847+0,25366065*n (n= nro pulsos/40) para n < 0,5051
'v = 0,00233053+0,28154932*n (n= nro pulsos/40) para n > 0,5051

MAIN:
tm=0
TMR1LOW=0

Cls
MAIN1:

tempo=TMR1LOW
freq=tempo/tm
If freq > n Then
a=a1
b=b1
EndIf

velm=(a*freq)+b

Print At 1,1,"t ",Dec3 tm,"s"," P ",Dec3 tempo
Print At 2,1,"v ",Dec4 velm,"", "f ",Dec3 freq

If tm > segundos Then
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 5000
Cls
Return
EndIf

response = InKey
Select response
Case 7
DelayMS 5000
Cls
Return
EndSelect
GOTO MAIN1

'Configuracao de sensor q nao esta na relacao
NOVO_SENSOR:

'response = InKey
'select response
DelayMS 300
Cls
Print At 1,1,"Entre valor de a"
Print $fe,$0e,$c0

-
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$0c,$c0
Gosub CONVERTE_DADOS
a=Rr
Cls

Print At 1,1,"Entre valor de b"
Print $fe,$0c,$c0
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$c0
Gosub CONVERTE_DADOS
b=Rr
Cls

Print At 1,1,"Entre valor n < "
Print $fe,$0c,$c0
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$c0
Gosub CONVERTE_DADOS
n=Rr
Cls

Print At 1,1,"Entre val. de al"
Print $fe,$0e,$c0
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$0c
Gosub CONVERTE_DADOS
al=Rr
Cls

Print At 1,1,"Entre val. de bl"
Print $fe,$0c,$c0
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$c0
Gosub CONVERTE_DADOS
bl=Rr
Cls

Print At 1,1,"Entre valor n > "
Print $fe,$0c,$c0
Gosub ENTRA_DADOS
Print $fe,$c0
Gosub CONVERTE_DADOS
nl=Rr
Cls

Print At 1,1," Sensor "
Print At 2,1," Configurado "
DelayMS 1000
Cls
Return

'EndSelect
GOTO NOVO_SENSOR

'Início das Medições
INICIA_MEDICAO:

Clear DADOS
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," ", Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES," ",Dec2 segundos
If i=50 Then
Gosub RELOGIO
Gosub DS18B20_READ
i=0
EndIf
Print At 2,1,"Inicia Medicao ",1

Case 7
Sound PORTC.1, [119,10,120,10]
If a=0 And al=0 Then
Cls
Print At 1,1," Sensor nao "
Print At 2,1," Configurado "
DelayMS 2000
C=0
D=1
M=0
I=0
Gosub NOVO_SENSOR
GOTO COTAL
Else GOTO COTAL
EndIf

```

```

Case 15
Sound PORTC.1, [119,10,120,10]
DelayMS 500
GOTO MENU
EndSelect
GOTO INICIA_MEDICAO

COTA1:
Cls
D = 1
verifica = "t"
Print At 1,1,"Qual a Cota ?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
GOSUB ENTRA_DADOS
GOSUB CONVERTE_DADOS
Cota=Rr
Cls
Print At 1,1,"Tempo de Medicao"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
GOSUB ENTRA_DADOS
GOSUB CONVERTE_DADOS

segundos=Rr

GOSUB CABECALHO
Cls

GOSUB LARGURA_RIO
GOSUB POS_PROF

GOTO INICIA_MEDICAO

'-----
' Inicializa DS18B20

DS18B20_INI:
Owrite DQ, 1, [$CC, $44] ' Conversao de temperatura
Return

'-----
'Leitura do DS18B20

DS18B20_READ:

Owrite DQ, 1, [$CC, $44]
Owrite DQ, 1, [$CC, $BE] ' Le a temperatura
Oread DQ, 0, [TEMPERATURE.LowByte, TEMPERATURE.HighByte, dumth,dumT1,reg,Dum,Dum,D
TEMPRD =(6.25 * TEMPERATURE)/100
Return

'-----
'Inicialização SD/MMC card
CARTAO:
response = SD_Init_FS
If response = 0 Then
SD_Pseudo_Format
Return
Else
Print At 1,1," Insira Cartao "
Sound PORTC.1, [119,10,120,10]
DelayMS 2500
GOTO CARTAO
EndIf

OPEN_NEW_FILE:
SD_Day = DATE
SD_Month = MONTH
SD_Year = YEAR
SD_File_Name = "MOLINETE" 'Nome do Arquivo, somente em caixa alta!
SD_File_Ext = ".txt" 'Extensao do arquivo, somente em caixa alta!
response = SD_Check_For_File
If response = 0 Then
Return
Else
SD_New_File
EndIf
SD_Close_File
Return

'-----
' Inicializa DS1302

'RELOGIO_init:

'High RST
' SHOUT DTA, CLK, LsbFirst, [$e,$00]
' Low RST
'Return

'-----
' Le o Relogio

'RELOGIO:

'High RST
' SHOUT DTA, CLK, LsbFirst, [$bf]
' SHIN DTA, CLK, LsbPre, [SECONDS,MINUTES,HOURS,DATE,MONTH,DAY,YEAR,0]
' Low RST
'Return

'-----
' write to DS1302 RTC
|
'Grava_DS1302:
' High RST
' SHOUT DTA, CLK, LsbFirst, [$be]
' SHOUT DTA,CLK, LsbFirst, [SECONDS,MINUTES,HOURS,DATE,MONTH,DAY,YE
' Low RST
Return

'-----
'Teclado

MENU:

MENU1:
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,"Menu "
Print At 1,6,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," "
Print At 1,12,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES

If i=50 Then
GOSUB RELOGIO
i=0
EndIf
Print At 2,1,"Config. Sensor ?"
Case 0
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU5
Case 3
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU2

Case 7
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
C=0
D=1
M=0
I=0
GOSUB NOVO_SENSOR
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO INICIA_MEDICAO
EndSelect
GOTO MENU1

MENU2:
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,"Menu "
Print At 1,6,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," "
Print At 1,12,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES

If i=50 Then
GOSUB RELOGIO
i=0
EndIf
Print At 2,1,"Config. Hora ? "

Case 0
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU1
Case 3
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU3
Case 7
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
Cls
Print At 1,5,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES
D=5
C=0
GOTO ACERTA_HORA
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO INICIA_MEDICAO
EndSelect
GOTO MENU2

MENU3:
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,"Menu "
Print At 1,6,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," "
Print At 1,12,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES

If i=50 Then
GOSUB RELOGIO
i=0
EndIf
Print At 2,1,"Config. Data ? "
Case 0
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU2
Case 3
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU4
Case 7
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
Cls
Print At 1,5,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH,"/",Dec2 YEAR
D=5
C=0
GOTO ACERTA_DATA
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO INICIA_MEDICAO
EndSelect
GOTO MENU3

MENU4:
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,"Menu "
Print At 1,6,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," "
Print At 1,12,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES

If i=50 Then
GOSUB RELOGIO
i=0
EndIf
Print At 2,1," Resultados "
Case 0
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU3
Case 3
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU5
Case 7
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
Print At 2,1,"vazao ",Dec2 Vt," m",2," "
DelayMS 2000
Print At 2,1,"Area ",Dec2 Ait," m",3," "
DelayMS 2000
Print At 2,1,"vel. ",Dec2 velmt," m/s"
DelayMS 1000
GOTO MENU5
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO INICIA_MEDICAO
EndSelect
GOTO MENU4

MENUS:
Inc i
response = InKey
Select response
Print At 1,1,"Menu "
Print At 1,6,Dec2 DATE,"/",Dec2 MONTH," "
Print At 1,12,Dec2 HOURS,":",Dec2 MINUTES

If i=50 Then
GOSUB RELOGIO
i=0
EndIf

```



```

Print At 2,1," Testar Sensor "
Case 0
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU4
Case 3
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU1
Case 7
Sound PORTC.1, [119,10]
Gosub TESTA_SENSOR
DelayMS 700
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO INICIA_MEDICAO
EndSelect
GOTO MENU5
'-----
' TESTE DE SENSOR
'-----
TESTA_SENSOR:
i=0
response = InKey
Select response
If PORTA.3 = 1 Then
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 200
EndIf
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 700
GOTO MENU
EndSelect
GOTO TESTA_SENSOR
'-----
'Mostrando Resultados INSTANTANEOS no Display
DISPLAY:
Print At 1,12,Dec2 TEMPRD,0," C"
Print At 2,1,Dec5 vel
Print At 2,12,Dec3 velm
Return
'-----
'Gravando Resultados no Arquivo MOLINETE.TXT
WRITE_TO_FILE:
SD_Append_File
If verifica = "T" Then
SD_IO_String = "ME,***,***,"+Str$(Dec2 margesq)+","+Str$(Dec2 profunesq)+",***"
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = Str$(Dec2 ai_esq)+",***,***,***,***,***,***,***,***" +13 + 10
SD_Write_String_To_File
verifica = "F"
EndIf
SD_IO_String = Str$(Dec2 qv)+","+Str$(Dec2 lr)+","+Str$(Dec2 dv)+","+Str$(Dec2
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = Str$(Dec2 pfb)+","+Str$(Dec2 pfc)+","+Str$(Dec2 pfd)+","+Str$(C
$(Dec3 V)+
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = Str$(Dec3 vela)+","+Str$(Dec3 velb)+","+Str$(Dec3 velc)+","+Str
velm)+
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = Str$(Dec HOURS)+","+Str$(Dec MINUTES)+":" + Str$(Dec2 SECONC
YEAR) + Str$(Dec TEMPRD) + 13 + 10
SD_Write_String_To_File
SD_Close_File
USEROUT["Pulsos: ",Dec tempo," , Area: ",Dec3 Ai," , Vazao: ",Dec3 V," , vel
DATE,"/",Dec2 MONTH,"/",Dec2 YEAR,13]
Return
'-----
'Delay 100
DELAY100:
DelayMS 250
Return
'-----
'Insercao de dados
ENTRA_DADOS:
If C=11 Then
C=0
D=1
M=0
Return
EndIf
response = InKey
Select response
Case 1,2,4,5,6,8,9,10,12,13,14
KEY = Lookup response, [126,48,".",127,55,56,57,13,52,53,54,20,49,50,51] ;COM
KEY = Lookup response, [20,48,126,127,55,56,57,13,52,53,54,".",49,50,51] ;CONVER
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 500
Print At 2,D,KEY
DADOS[C]=KEY
Inc C
Inc D
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
Clear DADOS
GOTO MENU
Case 0
If D = 8 Then
Sound PORTC.1, [119,10]
D = 5
C=0
Print At 2,D," "
GOTO ACERTA_HORA
EndIf
Sound PORTC.1, [119,10]
Dec D
C=0
Print At 2,D," "
GOTO ACERTA_HORA
EndSelect
GOTO ACERTA_HORA
'-----
'Relogio
ACERTA_HORA:
Print At 2,7,";"
If D=7 Then
D=8
HOURS=Val(DADOS,Dec)
If HOURS > 24 Then
D=5
C=0
Print At 2,D," "
GOTO ACERTA_HORA
EndIf
C=0
If D=10 Then
D=11
MINUTES=Val(DADOS,Dec)
If MINUTES > 59 Then
D=8
C=0
Print At 2,8," "
GOTO ACERTA_HORA
EndIf
C=0
Gosub Grava_DS1302
Clear DADOS
GOTO MENU1
EndIf
response = InKey
Select response
Case 1,2,4,5,6,8,9,10,12,13,14
KEY = Lookup response, [126,48,".",127,55,56,57,13,52,53,54,20,49,50,51] ;COM
KEY = Lookup response, [20,48,126,127,55,56,57,13,52,53,54,".",49,50,51] ;CONVER
Sound PORTC.1, [119,10]
DelayMS 500
Print At 2,D,KEY
DADOS[C]=KEY
Inc C
Inc D
Case 15
Sound PORTC.1, [119,10]
Clear DADOS
GOTO MENU
Case 0
If D = 8 Then
Sound PORTC.1, [119,10]
D = 5
C=0
Print At 2,D," "
GOTO ACERTA_HORA
EndIf
Sound PORTC.1, [119,10]
Dec D
C=0
Print At 2,D," "
GOTO ACERTA_HORA
EndSelect
GOTO ACERTA_HORA
'-----
'*****
ACERTA_DATA:
Print At 2,7,"/"
Print At 2,10,"/"
If D=7 Then
D=8

```



```

DATE=Val(DADOS,Dec)
If DATE > 31 Then
    D=5
    C=0
    Print At 2,D," "
EndIf
Goto ACERTA_DATA
EndIf
C=0

If D=10 Then
    D=11
    MONTH=Val(DADOS,Dec)
    If MONTH > 12 Then
        D=8
        C=0
        Print At 2,8," "
        Goto ACERTA_DATA
    EndIf
    C=0
EndIf

If D = 13 Then
    YEAR = Val (DADOS,Dec)
    Gosub Grava_DS1302
    Goto MENU1
EndIf

response = Inkey
Select response
Case 1,4,5,6,8,9,10,12,13,14
    KEY = Lookup response, [20,48,126,127,49,50,51,13,52,53,54,".",55,56,57]
Case 1,2,4,5,6,8,9,10,12,13,14
    KEY = Lookup response, [126,48,".",127,55,56,57,13,52,53,54,20,49,50,51]
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 500
    Print At 2,D,KEY
    DADOS[C]=KEY
    Inc C
    Inc D
Case 15
    Clear DADOS
    Goto MENU
Case 0
    If D = 8 Then
        Sound PORTC.1, [119,10]
        D = 5
        C=0
        Print At 2,D," "
        Goto ACERTA_DATA
    EndIf
    If D = 11 Then
        Sound PORTC.1, [119,10]
        D = 8
        C=0
        Print At 2,D," "
        Goto ACERTA_DATA
    EndIf
    Sound PORTC.1, [119,10]
    Dec D
    C=0
    Print At 2,D," "
    Goto ACERTA_DATA
EndSelect

Goto ACERTA_DATA

'-----
'PARA DETERMINAR O NUMERO DE PONTOS A SEREM MEDIDOS A PARTIR DA MARGEM

LARGURA_RIO:
i=0
Cls
Clear DADOS

Print At 1,1,"Largura do Rio ?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS

lr=Rr

margesq = 0
margdir = 0
contador = 1
al_dir = 0
pm = 0

CONFIR1:
Clear DADOS
Print At 1,1,"Recuar Margens ?"
Print At 2,1," Sim <- Nao ",1

response = Inkey
Select response
Case = 0
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 700
    Clear DADOS
    Cls
    Goto MENU_MARGESQ
Case = 7
    DelayMS 700
    Sound PORTC.1, [119,10]
    Cls
    margesq = 0
    profunesq = 0
    margdir = 0
    profundir = 0
    Goto MENU_RIO1
EndSelect
Goto CONFIR1

MENU_MARGESQ:
Print At 1,1,"Recuo a Esquerd?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS
margesq=Rr
Cls
Clear DADOS
DelayMS 200
Print At 1,1,"Profund. M. Esq?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS
profunesq=Rr
Cls
Goto MENU_MARGDIR

MENU_MARGDIR:
Clear DADOS
Print At 1,1,"Recuo a Direita?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500

Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS
margdir=Rr
DelayMS 200
Cls
Print At 1,1,"Profund. M. Dir?"
Print At 2,16,1
DelayMS 500
Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS
profundir=Rr
Cls
Goto MENU_RIO1

MENU_RIO1:
lr = lr - (margesq+margdir)
margdir = lr

Print At 1,1,"Largura do Rio"
Print At 2,1, Dec2 lr
DelayMS 4000

Select lr
Case = 0
    Print At 2,1,"Invalido"
    DelayMS 250
    Goto LARGURA_RIO
Case < 3
    dv=0.3
Case 3 To 6
    dv=0.5
Case 6 To 15
    dv=1
Case 15 To 30
    dv=2
Case 30 To 50
    dv=3
Case 50 To 80
    dv=4
Case 80 To 150
    dv=6
Case 150 To 250
    dv=8
Case > 250
    dv=12
EndSelect

qv=lr/dv
cv=dv

Cls
Print At 1,1,"Dist. Vert ",Dec2 dv
Print At 2,1," Nro Pontos ",Dec2 qv
DelayMS 4000
Cls

CONFIR:
Print At 1,1,"Confirma ?"
Print At 2,1,"Nao <- Sim ",1

response = Inkey
Select response
Case = 7
    Sound PORTC.1, [119,10]
    al_esq = (dv - margesq)/2
    al_esq = al_esq*profunesq
    qv=0
    Return
Case = 0
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 200
    Cls
    Print At 1,1,"Dist 1a Medicao?"
    Print At 2,16,1
    Gosub ENTRA_DADOS
    Gosub CONVERTE_DADOS
    pm = Rr
    DelayMS 200
    Cls
    Print At 1,1,"Dist. Entre Vert ?"
    Print At 2,16,1
    Gosub ENTRA_DADOS
    Gosub CONVERTE_DADOS
    dv = Rr
    DelayMS 200
    Cls
    qv = lr/dv

    If pm <> 0 Then
        cv = pm
    Else
        cv = dv
    EndIf
    Print At 1,1,"Nro. de Pontos ?"
    Print At 2,1,Dec qv
    DelayMS 1000
    qv = 0
    Return
EndSelect
Goto CONFIR

'-----
'Determina as Posicoes a serem medidas conforme a profundidade

POS_PROF:
Clear DADOS
Print At 1,1,"Inicia a Medicao"
Print At 2,1,"a ",Dec2 cv,"m",1

response = Inkey
Select response
Case 7
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 700
    Goto pos_prof_1
Case 0
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 700
    Goto INICIA_MEDICAO
Case 15
    Sound PORTC.1, [119,10]
    DelayMS 700
    Goto MENU
EndSelect
Goto POS_PROF

pos_prof_1:
Cls
Inc qv
Print At 1,1,"qual a Profund ?"
Gosub ENTRA_DADOS
Gosub CONVERTE_DADOS

pf=Rr

Select pf

```

```

Case 0.15 To 0.60
  pfd=0.6 * pf
  pfad=pf
  GoSub REPT_PROF
  veld=velm
  GoSub Calcula_Ai
  GoSub Calcula_V
  GoSub Totaliza
  Cls
  Print At 1,1,"Media Vertical"
  Print At 2,1,"V ",Dec qv," vel ",Dec4 velm

  Delays 7000
  GoSub ENVIA_SERIAL
  GoSub WRITE_TO_FILE
  pfd=0 : veld=0

Case 0.60 To 1.20
  pfb= 0.2 * pf
  pfad=pfb
  GoSub REPT_PROF

  velb=velm
  pfe= 0.8 * pf
  pfad=pfe
  GoSub REPT_PROF
  vele=velm
  velm=(velb+vele)/2

  GoSub Calcula_Ai
  GoSub Calcula_V
  GoSub Totaliza
  Print At 1,1,"Media Vertical"
  Print At 2,1,"V ",Dec qv," vel ",Dec4 velm
  Delays 7000
  GoSub ENVIA_SERIAL
  GoSub WRITE_TO_FILE
  pfb=0 : velb=0 : pfe=0 : vele=0

Case 1.20 To 2
  pfb= 0.2 * pf
  pfad=pfb
  GoSub REPT_PROF
  velb=velm

  pfd= 0.6 * pf
  pfad=pfd
  GoSub REPT_PROF
  veld=velm
  veld = 2 * veld

  pfe= 0.8 * pf
  pfad=pfe
  GoSub REPT_PROF
  vele=velm

  velm=velb+(2*veld)+vele
  velm=velm/4
  GoSub Calcula_Ai
  GoSub Calcula_V
  GoSub Totaliza
  Print At 1,1,"Media Vertical"
  Print At 2,1,"V ",Dec qv," vel ",Dec4 velm
  Delays 5000
  GoSub ENVIA_SERIAL
  GoSub WRITE_TO_FILE
  velb=0 : velc=0 : vele=0 : pfb=0 : pfc=0 : pfe=0

Case 2 To 4
  pfb= 0.2 * pf
  pfad=pfb
  GoSub REPT_PROF
  velb=velm

  pfc= 0.4 * pf
  pfad=pfc
  GoSub REPT_PROF
  velc=velm
  velc = 2 * velc

  pfd= 0.6 * pf
  pfad=pfd
  GoSub REPT_PROF
  veld=velm
  veld = 2 * veld

  pfe= 0.8 * pf
  pfad=pfe
  GoSub REPT_PROF
  vele=velm

  velm=velb+(2*velc)+(2*veld)
  velm=velm+vele
  velm=velm/6

  GoSub Calcula_Ai
  GoSub Calcula_V
  GoSub Totaliza
  Print At 1,1,"Media Vertical"
  Print At 2,1,"V ",Dec qv," vel ",Dec4 velm
  Delays 5000
  GoSub ENVIA_SERIAL
  GoSub WRITE_TO_FILE
  velb=0 : velc=0 : veld=0 : vele=0 : pfb=0 : pfc=0 : pfd=0 : pfe=0

Case > 4
  pfa=0
  pfad=pfa
  GoSub REPT_PROF
  vela=velm

  pfb= 0.2 * pf
  pfad=pfb
  GoSub REPT_PROF
  velb=velm

  pfc= 0.4 * pf
  pfad=pfc
  GoSub REPT_PROF
  velc=velm

  pfd= 0.6 * pf
  pfad=pfd
  GoSub REPT_PROF
  veld=velm

  pfe= 0.8 * pf
  pfad=pfe
  GoSub REPT_PROF
  vele=velm

  pff= pf
  pfad=pff
  GoSub REPT_PROF

  velf=velm

  velb=velb+velc+veld
  velb=2 * (velb+vele)
  velm = vela + velb + velf
  velm=velm/10

  GoSub Calcula_Ai
  GoSub Calcula_V
  GoSub Totaliza
  Print At 1,1,"Media Vertical"
  Print At 2,1,"V ",Dec qv," vel ",Dec4 velm
  Delays 5000
  GoSub ENVIA_SERIAL
  GoSub WRITE_TO_FILE
  vela=0 : velb=0 : velc=0 : veld=0 : vele=0 : velf=0 : pfa=0 : pfb=0 : pfc=0 : pfd=0 : pfe=0 : pff=0

EndSelect

cv=cv+dv
cv_1 = cv+dv

If cv_1 > 1r Then
  ai_dir = (1r - cv)/2
  ai_dir = ai_dir*profundir
EndIf

If cv > 1r Then
  Cls
  Print At 1,1," Medicao "
  Print At 2,1," Concluida "
  Sound PORTC.1, [119,10,120,10]
  Delays 5000
  response = 0
  Repeat

  Inc response

  Print At 1,1," Resultados "
  Print At 2,1,"Vazao ",Dec2 vt," m",2," "
  Delays 4000
  Print At 2,1,"Area ",Dec2 Ait," m",3," "
  Delays 4000
  Print At 2,1,"vel. M. ",Dec2 velmt," m/s"
  Delays 4000
  Until response = 3

***** Gravação Final *****

SD_Append_File
SD_IO_String = "MD,***,*** "+Str$(Dec2 margdir)+" "+Str$(Dec2 profundir)+"",
ai_dir)+",***,***,***,***,***,***,***,***"+ 13 + 10 + 10
SD_Write_String_To_File

SD_IO_String = "Vazao Total: "+Str$(Dec3 vt) + 13 + 10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "Area Total: "+Str$(Dec3 Ait) + 13 + 10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "vel. M. Total: "+Str$(Dec3 velmt) +13 +10 + 10
SD_Write_String_To_File

SD_IO_String = "- Legendas:" +13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- QV - CONTADOR DE VERTICAIS" +13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- LR - LARGURA DO RIO" +13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- DV - DIST. ENTRE VERTICAIS"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- CV - DIST. DA MARGEM"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- PF - PROF. DA VERTICAL"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pfa - PROF. SUPERFICIE"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pfb - PROF. A 20%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pfc - PROF. A 40%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pfd - PROF. A 60%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pfe - PROF. A 80%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Pff - PROF. FUNDO"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Ai - AREA DA SECAO"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- V - VAZAO DA SECAO"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Vela - VELOC. SUPERFICIE"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Velb - VELOC. A 20%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Velc - VELOC. A 40%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Veld - VELOC. A 60%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Vele - VELOC. A 80%"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- Velf - VELOC. FUNDO"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- VELm - VELOC. MEDIA"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- DATA"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- HORA"+13 +10
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "- TEMPERATURA"+13 +10
SD_Write_String_To_File

SD_Close_File

C=0 : D=1 : M=0 : i=0
Goto INICIA_MEDICAO

endif

Goto POS_PROF

'-----
'Repete n vezes a entrada de Profundidade

REPT_PROF:

Print At 1,1,"Posicione Sensor"
Print At 2,1,"a ",Dec2 pfad," m "
Print At 2,16,1

response =InKey
Select response
Case 7
  Sound PORTC.1, [119,10]
  Delays 250
  C=0
  Cls
  Print At 1,1,"V ",Dec qv," ",Dec1 pfad/pf,"p"
  Delays 2000
  Cls
  Goto MAIN
Case 3
  Sound PORTC.1, [119,10]
  Return
Case 15
  Cls
  Clear DADOS
  C=0 : D=1 : M=0 : i=0
  Goto MENU
EndSelect
Goto REPT_PROF

```

```

'-----
'Envia resultados para serial
CABECALHO:
SD_Append_File
SD_IO_String = "Cota = "+Str$(Dec2 cota)+","+"Tempo Medicao = "+Str$(Dec segund
SD_Write_String_To_File
SD_IO_String = "QV,LR,DV,CV,PF,PFa,PFB,PFC,PFD,PFe,PFF,PS,Ai,V,VELa,VELb,VELc,"
SD_Write_String_To_File
SD_Close_File
Return

'-----
'Calculo da Area de intercessao
Calcula_Ai:
If contador = 1 Then
    aa=(cv+dv)
    bb=(cv-dv)
    Ai=(aa-bb)/2
    Ai=pf*Ai+ai_esq
    contador = 2
Else
    aa=(cv+dv)
    bb=(cv-dv)
    Ai=(aa-bb)/2
    Ai=pf*Ai+ai_dir
Endif
Return

'-----
'Calculo da Vazao na vertical
Calcula_V:
V=Ai*velm
Return

'-----
'Totalizador
Totaliza:
AiT = AiT + Ai      'Area total
Vt = Vt + V         'Vazao total
VelmT=vt/AiT
Return

''-----
''simbolo unioeste
|
'simbolo:
'Cls

'Print At 1,1,0
'Print At 2,1,1
'Print At 2,2,3
'Print At 2,3,4
'Print At 1,4,0
'Print At 2,4,2
'Print At 1,2,5
'Print At 1,3,6
'DelayMS 8000
'Return

TIMER0:
Context Save
TMR0L=$DC
TMR0H=$0B
TMR0IF = 0
Inc SECONDS
If SECONDS = 60 Then
    SECONDS =0
    Inc MINUTES
Endif
If MINUTES = 60 Then
    MINUTES = 0
    Inc HOURS
Endif
If HOURS = 24 Then
    HOURS = 0
Endif
Inc tm
Context Restore

```


ANEXO A - Fotos dos Ensaio do LDM

Fotos do Ensaio no rio Toledo



(k) Acadêmicos de Engenharia de Pesca



(l) O contador de pulsos



(m) Iniciando o LDM



(n) Acadêmicas de Engenharia de Pesca



(o) Iniciando a medição



(p) Teste das Verticais

Fotos do Ensaio no Canal da Piracema - Itaipu Binacional



(q) Medição à Vau



(r) Iniciando o LDM



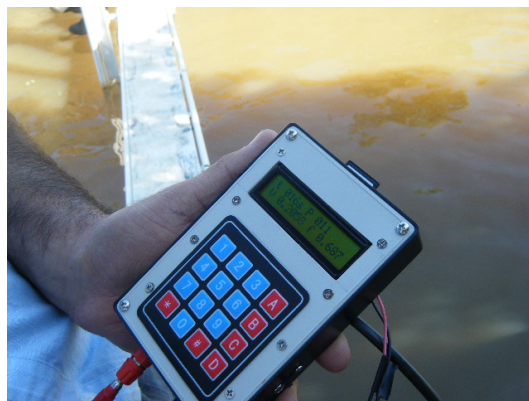
(s) Estagiária do Curso de Hidrologia



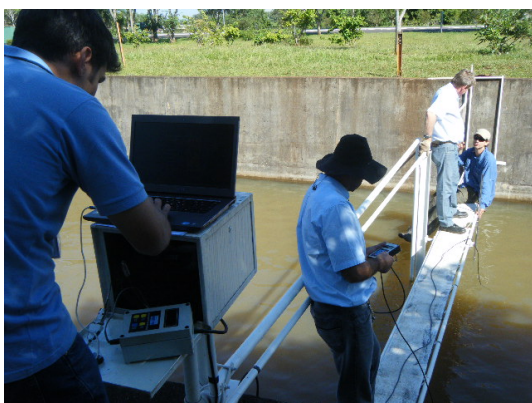
(t) Explicando o Funcionamento do LDM



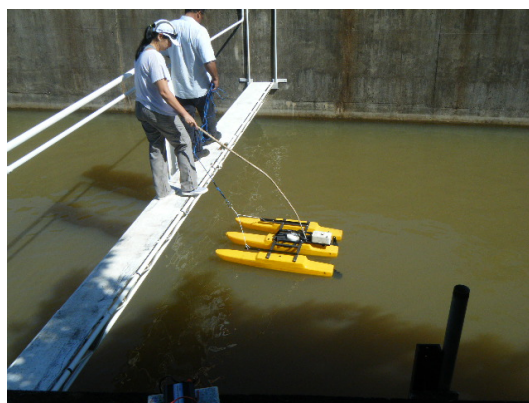
(u) Jorge - Div. de Est. Hidrológicos e Energéticos - Itaipu



(v) LDM mostrando a velocidade pontual




(w) Equipe da Div. de Est. Hidrológicos e Energéticos - Itaipu




(x) Medição com o ADCP - Travessia

ANEXO B - Planilhas dos Ensaio do LDM



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
 Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Liliã Gramani



Responsável: **Grasiele, Hericson, Breno e Karla**

Data: **08/10/2012** Hora: **13h30min**

Ponto: **Rio Toledo**

Cota (M): **0,15**

Largura: **6** Prof. Média: **0,64**

Vazão: **2,61 m³/s**

Area: **3,83 m²**


Vel. Média: **0,68 m/s**

MOLINETE:

V=	b	tempo(s)	a
RPS=0,87	0,02393	30	0,26458
RPS=0,87	0,02393	30	0,26458


Vertical	Distância entre	Prof. (M)	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	Area	Q
0										0,00	0,00	0,000
1	0,5	0,38	0,2	0,08								
			0,6	0,23	56	54		55	0,51	0,51	0,19	0,10
			0,8	0,30								
2	1	0,52	0,2	0,10								
			0,6	0,31	68	65		66	0,61	0,61	0,26	0,16
			0,8	0,42								
3	1,5	0,63	0,2	0,13	71	75		73	0,67			
			0,6	0,36				77	0,71	0,69	0,32	0,22
			0,8	0,50	78	77						
4	2	0,80	0,2	0,16	63	77		70	0,64			
			0,6	0,48						0,62	0,40	0,25
			0,8	0,64	63	66		65	0,59			
5	2,5	0,90	0,2	0,18	72	69		71	0,65			
			0,6	0,54						0,68	0,45	0,31
			0,8	0,72	78	80		79	0,72			
6	3	0,88	0,2	0,18	54	50		52	0,48			
			0,6	0,53						0,72	0,44	0,32
			0,8	0,70	107	105		106	0,96			
7	3,5	0,88	0,2	0,18	95	77		86	0,78			
			0,6	0,53						0,90	0,44	0,40
			0,8	0,70	108	119		113	1,02			
8	4	0,75	0,2	0,15	98	89		93	0,84			
			0,6	0,45						0,96	0,38	0,36
			0,8	0,60	120	120		120	1,08			
9	4,5	0,60	0,2	0,12								
			0,6	0,36	104	102		103	0,93	0,93	0,30	0,28
			0,8	0,48								
10	5	0,70	0,2	0,14	25	29		27	0,26			
			0,6	0,42						0,49	0,35	0,17
			0,8	0,56	81	77		79	0,72			
11	5,5	0,45	0,2	0,09								
			0,6	0,27	21	23		22	0,22	0,22	0,23	0,05
			0,8	0,36								
12	6	0,35	0,2	0,07								
			0,6	0,21	18	20		19	0,19	0,19	0,09	0,02
			0,8	0,28								

Figura 55: Planilha Rio Toledo - 08/10/2012 - Contador de Pulsos



UNIOESTE
Universidade do Estado do Paraná

RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
 Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Liliana Gramani



UFPR
Universidade Federal do Paraná

Responsável: **Karla, Grasielle, Herisson e Breno**

Data: **08/10/2012** Hora: **13:30**

Ponto: **Rio Toledo**

Cota (M): **0,15**

Largura: **6** Prof. Média: **0,41**

Vazão: **2,48 m³/s**

Área: **3,83 m²**


Vel. Média: **0,65 m/s**

MOLINETE: V= b tempo(s) a*n

n < 2,098	0,02393	60	0,26458
n > 2,098	0,02393	60	0,26458

Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0							0,00	0,00
1	0,5	0,38	0,2	0,08					
			0,6	0,23	116	0,54	0,54	0,19	0,10
			0,8	0,30					
2	1	0,52	0,2	0,10					
			0,6	0,31	132	0,61	0,61	0,26	0,16
			0,8	0,42					
3	1,5	0,63	0,2	0,13	166	0,76			
			0,6	0,38			0,73	0,32	0,23
			0,8	0,50	152	0,69			
4	2	0,80	0,2	0,16	155	0,71			
			0,6	0,48			0,65	0,40	0,26
			0,8	0,64	131	0,60			
5	2,5	0,90	0,2	0,18	136	0,62			
			0,6	0,54			0,69	0,45	0,31
			0,8	0,72	166	0,76			
6	3	0,88	0,2	0,18	136	0,62			
			0,6	0,53			0,70	0,44	0,31
			0,8	0,70	171	0,78			
7	3,5	0,88	0,2	0,18	147	0,67			
			0,6	0,53			0,86	0,44	0,38
			0,8	0,70	232	1,05			
8	4	0,75	0,2	0,15	170	0,77			
			0,6	0,45			0,91	0,38	0,34
			0,8	0,60	234	1,06			
9	4,5	0,60	0,2	0,12					
			0,6	0,36	189	0,86	0,43	0,30	0,13
			0,8	0,48					
10	5	0,70	0,2	0,14	71	0,34			
			0,6	0,42			0,52	0,35	0,18
			0,8	0,56	153	0,70			
11	5,5	0,45	0,2	0,09					
			0,6	0,27	53	0,26	0,26	0,23	0,06
			0,8	0,36					
12	6	0,35	0,2	0,07					
			0,6	0,21	42	0,21	0,21	0,09	0,02
			0,8	0,28					


Figura 56: Planilha Rio Toledo - 08/10/2012 - LDM



unloeste
Instituto Paranaense de Estudos de Pesca

RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Liliana Gramani

LDM -
Prof.



UFPR
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Responsável: Marcos / Marcelo

Data: 10/11/2012 Hora: 9h30

Ponto: Arroio do Lago - Gpuava

Cota (M): 0,6

Prof. Média: 0,63

Vazão: 1,70 m³/s

Área: 2,53 m²


Vel. Média: 0,67 m/s

MOLINETE: MLN-7

V=	b	tempo(s)	a
N < 2,098	0,02393	40	0,26458
N > 2,098	0,02393	40	0,26458


Vertical	Distância entre vertifundidade	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	Área	Q
0									0,00	0,00	0,000
1	0,5	0,60	0,2	0,12	111	110	110,50	0,75	0,75	0,30	0,23
			0,6	0,36			110,50				
			0,8	0,48			0,00				
2	1	0,70	0,2	0,14	93	96	94,50	0,65	0,70	0,35	0,24
			0,6	0,42			0,00				
			0,8	0,56	108	109	108,50	0,74			
3	1,5	0,70	0,2	0,14	95	95	95,00	0,65			
			0,6	0,42			0,00		0,71	0,35	0,25
			0,8	0,56	112	114	113,00	0,77			
4	2	0,75	0,2	0,15	92	90	91,00	0,63			
			0,6	0,45			0,00		0,66	0,38	0,25
			0,8	0,60	98	102	100,00	0,69			
5	2,5	0,70	0,2	0,14	90	87	88,50	0,61			
			0,6	0,42			0,00		0,61	0,35	0,21
			0,8	0,56	90	90	90,00	0,62			
6	3	0,70	0,2	0,14	100	102	101,00	0,69			
			0,6	0,42			0,00		0,72	0,35	0,25
			0,8	0,56	110	108	109,00	0,74			
7	3,5	0,60	0,2	0,12			0,00				
			0,6	0,36	88	91	89,50	0,62	0,62	0,30	0,18
			0,8	0,48			0,00				
8	4	0,60	0,2	0,12			0,00				
			0,6	0,36	85	83	84,00	0,58	0,58	0,15	0,09
			0,8	0,48			0,00				
9			0,2	0,00			0,00	0			
			0,6	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,8	0,00			0,00	0			
10			0,2	0,00			0,00	0,00			
			0,6	0,00			0,00	0	0,00	0,00	0,00
			0,8	0,00			0,00	0,00			
11			0,2	0,00			0,00	0			
			0,6	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,8	0,00			0,00	0			
12			0,2	0,00			0,00	0			
			0,6	0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
			0,8	0,00			0,00	0			

Figura 57: Planilha Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - Contador de Pulsos



UNIOESTE
Universidade do Oeste do Paraná

RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
 Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profa. Drª. Liliana Gramani



UFPR
Universidade Federal do Paraná

Responsável: Marcos / Marcelo

Data: 10/11/2012 Hora: 10h30

Ponto: Arroio do Lago

Cota (M): 0,6

Largura: 6 Prof. Média: 0,28

Vazão: 1,68 M³/s

Área: 2,53 m²


Vel. Média: 0,66 m/s

MOLINETE: V= b tempo(s) s*n

n < 2,098	0,02393	80	0,26438
n > 2,098	0,02393	80	0,26438


Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0							0,00	0,00
1	0,3	0,60	0,2	0,12					
			0,6	0,36	220	0,73	0,73	0,30	0,23
			0,8	0,48					
2	1	0,70	0,2	0,14	181	0,62			
			0,6	0,42			0,67	0,35	0,24
			0,8	0,56	212	0,73			
3	1,3	0,70	0,2	0,14	186	0,64			
			0,6	0,42			0,70	0,35	0,24
			0,8	0,56	221	0,75			
4	2	0,75	0,2	0,15	178	0,61			
			0,6	0,45			0,62	0,38	0,23
			0,8	0,60	183	0,63			
5	2,3	0,70	0,2	0,14	182	0,63			
			0,6	0,42			0,63	0,35	0,22
			0,8	0,56	185	0,64			
6	3	0,70	0,2	0,14	203	0,70			
			0,6	0,42			0,69	0,35	0,24
			0,8	0,56	201	0,69			
7	3,3	0,60	0,2	0,12					
			0,6	0,36	180	0,62	0,62	0,30	0,19
			0,8	0,48					
8	4	0,60	0,2	0,12					
			0,6	0,36	173	0,60	0,60	0,15	0,09
			0,8	0,48					
9			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
10			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
11			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
12			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			

Figura 58: Planilha Arroio do Pocinho - 10/11/2012 - LDM



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Liliã Gramani

LDM - Prof.



Responsável: Marcos / Marcelo

Data: 05/01/2013 Hora: 9h30

Ponto: Arroio do Pocinho - Gpuava

Cota (M): 0,45

Comprimento: 4 Prof. Média: 0,49

Vazão: 1,27 m³/s

Área: 1,95 m²


Vel. Média: 0,65 m/s

MOLINETE: Hidromec

V=	b	tempo(s)	a
N < 7,93	0,0006	30	0,26175
N > 7,93	0,0006	30	0,26175


Vertical	Distância entre vertifundidade	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	Área	Q
0									0,00	0,00	0,000
1	0,5	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	72 70		71,00	0,62	0,62	0,25	0,16
2	1	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	77 77		77,00	0 0,67 0	0,67	0,25	0,17
3	1,5	0,55	0,2 0,6 0,8	0,11 0,33 0,44	75 77		76,00	0,66	0,66	0,28	0,18
4	2	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	70 73		71,50	0,62	0,62	0,25	0,16
5	2,5	0,55	0,2 0,6 0,8	0,11 0,33 0,44	78 78		78,00	0,68	0,68	0,28	0,19
6	3	0,55	0,2 0,6 0,8	0,11 0,33 0,44	78 78		78,00	0,68	0,68	0,28	0,19
7	3,5	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	73 71		72,00	0,63	0,63	0,25	0,16
8	4	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	71 71		71,00	0,62	0,62	0,13	0,08
9			0,2 0,6 0,8	0,00 0,00 0,00			0,00 0,00 0,00	0 0,00 0	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00
10			0,2 0,6 0,8	0,00 0,00 0,00			0,00 0,00 0,00	0 0 0,00	0,00 0 0,00	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00
11			0,2 0,6 0,8	0,00 0,00 0,00			0,00 0,00 0,00	0 0,00 0	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00
12			0,2 0,6 0,8	0,00 0,00 0,00			0,00 0,00 0,00	0 0,00 0	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00	0,00 0,00 0,00

Figura 59: Planilha Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - Contador de Pulsos



UNIOESTE
Universidade Estadual do Oeste do Paraná

RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Lilliana Gramani



UFPR
Universidade Federal do Paraná

Responsável: Marcos / Marcelo

Data: 05/01/2013 Hora: 10h30

Ponto: Arroio do Pocinho

Cota (M): 0,43

Largura: 6 Prof. Média: 0,20

Vazão: 1,18 m³/s

Área: 1,95 m²


Vel. Média: 0,60 m/s

MOLINETE: V= b tempo(s) a*n

N < 7,93	0,0006	30	0,26175
N > 7,93	0,0006	30	0,26175

Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0							0,00	0,00
1	0,5	0,50	0,2	0,10					
			0,6	0,30	68	0,59	0,59	0,25	0,15
			0,8	0,40					
2	1	0,50	0,2	0,10			0,60	0,60	0,25
			0,6	0,30	69				
			0,8	0,40					
3	1,5	0,55	0,2	0,11			0,60	0,60	0,28
			0,6	0,33	69				
			0,8	0,44					
4	2	0,50	0,2	0,10		0,00			
			0,6	0,30	72	0,63	0,63	0,25	0,16
			0,8	0,40		0,00			
5	2,5	0,55	0,2	0,11		0,00			
			0,6	0,33	70	0,61	0,61	0,28	0,17
			0,8	0,44		0,00			
6	3	0,55	0,2	0,11		0,00			
			0,6	0,33	70	0,61	0,61	0,28	0,17
			0,8	0,44		0,00			
7	3,5	0,50	0,2	0,10			0,59	0,59	0,25
			0,6	0,30	68				
			0,8	0,40					
8	4	0,50	0,2	0,10			0,58	0,58	0,13
			0,6	0,30	66				
			0,8	0,40					
9			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
10			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
11			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
12			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000


Figura 60: Planilha Arroio do Pocinho - 05/01/2013 - LDM



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO

LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS

Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Lilliana Gramani



Responsável:

Marcos / Herisson

Vazão:

6,96 m³/s

Data:

15/02/2013

Hora:

13h30min

Ponto:

Rio Toledo

Área:

9,06 m²

Cota (M):

1,45

Vel. Média:

0,77 m/s

Largeza:

6

MOLINETE:

V=

b

tempo(s)

a

RPGs=0,87

0,02393

30

0,26458

RPGs>0,87


0,02393

30

0,26458

Vertical	Distância entre fundidade	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	Área	Q
0									0,00	0,00	0,000
1	0,5	1,50	0,2	0,30	40	42	41	0,39			
			0,6	0,90	51	53	52	0,48	0,48	0,75	0,36
			0,8	1,20	63	60	62	0,57			
2	1	1,58	0,2	0,32	70	70	70	0,64			
			0,6	0,95	53	50	52	0,48	0,60	0,79	0,48
			0,8	1,26	91	90	91	0,82			
3	1,5	1,58	0,2	0,32	58	57	58	0,53			
			0,6	0,95	59	60	60	0,55	0,62	0,79	0,49
			0,8	1,26	93	91	92	0,84			
4	2	1,65	0,2	0,33	82	85	84	0,76			
			0,6	0,99	78	81	80	0,73	0,76	0,83	0,63
			0,8	1,32	94	92	93	0,84			
5	2,5	1,70	0,2	0,34	91	95	93	0,84			
			0,6	1,02	90	90	90	0,82	0,84	0,85	0,71
			0,8	1,36	97	96	97	0,87			
6	3	1,70	0,2	0,34	92	93	93	0,84			
			0,6	1,02	92	92	92	0,84	0,84	0,85	0,72
			0,8	1,36	95	95	95	0,86			
7	3,5	1,55	0,2	0,31	108	108	108	0,98			
			0,6	0,93	106	110	108	0,98	1,02	0,78	0,79
			0,8	1,24	131	128	130	1,17			
8	4	1,50	0,2	0,30	113	111	112	1,01			
			0,6	0,90	108	112	110	0,99	0,98	0,75	0,74
			0,8	1,20	100	105	103	0,93			
9	4,5	1,60	0,2	0,32	101	102	102	0,92			
			0,6	0,96	118	115	117	1,05	0,99	0,80	0,80
			0,8	1,28	104	107	106	0,95			
10	5	1,65	0,2	0,33	70	70	70	0,64			
			0,6	0,99	82	80	81	0,74	0,73	0,83	0,60
			0,8	1,32	88	89	89	0,80			
11	5,5	1,50	0,2	0,30	70	70	70	0,64			
			0,6	0,90	73	75	74	0,68	0,69	0,75	0,52
			0,8	1,20	81	85	83	0,76			
12	6	1,23	0,2	0,25	50	52	51	0,47			
			0,6	0,74	41	38	40	0,37	0,45	0,31	0,14
			0,8	0,98	60	64	62	0,57			


Figura 61: Planilha Rio Toledo - 15/02/2013 - Contador de Pulsos



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO

LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS

Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Lillian Gramani



Responsável:

Marcos, Herisson

Vazão:

6,92 m³/s

Data:

15/02/2013

Hora:

13:30

Área:

9,06 m²

Ponto:

Rio Toledo

Vel. Média

0,76 m/s

Cota (M):

1,45

Largura:

6

MOLINETE:

V=

b

tempo(s)

a'n

n < 2,098

0,02393

30

0,26458

n > 2,098


0,02393

30

0,26458

Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0							0,00	0,00
1	0,5	1,50	0,2	0,30	41	0,39			
			0,6	0,90	50	0,46	0,47	0,75	0,35
			0,8	1,20	61	0,56			
2	1	1,58	0,2	0,32	68	0,62			
			0,6	0,95	50	0,46	0,59	0,79	0,46
			0,8	1,26	88	0,80			
3	1,5	1,58	0,2	0,32	53	0,49			
			0,6	0,95	55	0,51	0,57	0,79	0,45
			0,8	1,26	86	0,78			
4	2	1,65	0,2	0,33	78	0,71			
			0,6	0,99	79	0,72	0,74	0,83	0,61
			0,8	1,32	89	0,81			
5	2,5	1,70	0,2	0,34	95	0,86			
			0,6	1,02	95	0,86	0,87	0,85	0,74
			0,8	1,36	100	0,91			
6	3	1,70	0,2	0,34	95	0,86			
			0,6	1,02	95	0,86	0,87	0,85	0,74
			0,8	1,36	100	0,91			
7	3,5	1,55	0,2	0,31	111	1,00			
			0,6	0,93	109	0,99	1,05	0,78	0,81
			0,8	1,24	135	1,21			
8	4	1,50	0,2	0,30	112	1,01			
			0,6	0,90	105	0,95	0,97	0,75	0,73
			0,8	1,20	106	0,96			
9	4,5	1,60	0,2	0,32	100	0,91			
			0,6	0,96	117	1,06	1,00	0,80	0,80
			0,8	1,28	110	0,99			
10	5	1,65	0,2	0,33	89	0,63			
			0,6	0,99	80	0,73	0,73	0,83	0,60
			0,8	1,32	92	0,84			
11	5,5	1,50	0,2	0,30	66	0,61			
			0,6	0,90	68	0,62	0,64	0,75	0,48
			0,8	1,20	77	0,70			
12	6	1,23	0,2	0,25	50	0,46			
			0,6	0,74	41	0,39	0,45	0,31	0,14
			0,8	0,98	60	0,55			


Figura 62: Planilha Rio Toledo - 15/02/2013 - LDM



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO

LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS

Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Liliana Gramani



Responsável:

Herisson, Karla, Grasielle e Breno

Vazão:

2,20 m³/s

Data:

11/03/2013

Hora:

13h30

Área:

4,01 m²

Ponto:

Rio Toledo

Código:

Vel. Média:

0,55 m/s

Cota (M):

0,4

Largura:

6

Prof. Média:

0,67

MOLINETE:

V=

b

tempo(s)

a

N=2,079

0,02393

30

0,26468

N=2,079


0,02393

30


0,26468

Vertical	Distância entafundidade	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	Área	Q
0									0,00	0,00	0,000
1	0,5	0,48	0,2 0,6 0,8	0,10 0,29 0,38	45 43		44	0,41	0,41	0,24	0,10
2	1	0,70	0,2 0,6 0,8	0,14 0,42 0,56	38 45 48	32	35 48	0,33 0,44	0,39	0,35	0,14
3	1,5	0,87	0,2 0,6 0,8	0,17 0,52 0,70	55 53 50	54	55 52	0,50 0,48	0,49	0,44	0,21
4	2	1,00	0,2 0,6 0,8	0,20 0,60 0,80	63 77 79	61	62 78	0,57 0,71	0,64	0,50	0,32
5	2,5	1,05	0,2 0,6 0,8	0,21 0,63 0,84	58 79 79	52	55 79	0,51 0,72	0,61	0,53	0,32
6	3	1,07	0,2 0,6 0,8	0,21 0,64 0,86	65 68 66	60	63 67	0,58 0,61	0,59	0,54	0,32
7	3,5	0,85	0,2 0,6 0,8	0,17 0,51 0,68	62 94 93	62	62 94	0,57 0,85	0,71	0,43	0,30
8	4	0,50	0,2 0,6 0,8	0,10 0,30 0,40	80 81		81	0,73	0,73	0,25	0,18
9	4,5	0,45	0,2 0,6 0,8	0,09 0,27 0,36	65 61		63	0,58	0,58	0,23	0,13
10	5	0,53	0,2 0,6 0,8	0,11 0,32 0,42	45 50		48	0,44	0,44	0,27	0,12
11	5,5	0,40	0,2 0,6 0,8	0,08 0,24 0,32	21 23		22	0,22	0,22	0,20	0,04
12	6	0,23	0,2 0,6 0,8	0,05 0,14 0,18	18 20		19	0,19	0,19	0,06	0,01

Figura 63: Planilha Rio Toledo - 11/03/2013 - Contador de Pulsos



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
 Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Liliã Gramani




Responsável: **Karla, Grasiele, Hericson e Breno**
 Data: **11/03/2013** Hora: **13:30**
 Ponto: **Rio Toledo**
 Cota (M): **0,4**
 Largura: **6** Prof. Média: **0,34**

Vazão: **2,06** m³/s
 Área: **4,01** m²
 Vel. Média: **0,51** m/s


MOLINETE: V= b tempo(s) a/n
 n < 2,098 0,02393 70 0,26458
 n > 2,098 0,02393 70 0,26458

Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0							0,00	0,00
1	0,5	0,48	0,2	0,10					
			0,6	0,29	105	0,42	0,42	0,24	0,10
			0,8	0,38					
2	1	0,70	0,2	0,14	90	0,36			
			0,6	0,42			0,40	0,35	0,14
			0,8	0,56	110	0,44			
3	1,5	0,87	0,2	0,17	121	0,48			
			0,6	0,52			0,51	0,44	0,22
			0,8	0,70	134	0,53			
4	2	1,00	0,2	0,20	159	0,52			
			0,6	0,60			0,64	0,50	0,32
			0,8	0,80	168	0,66			
5	2,5	1,05	0,2	0,21	155	0,51			
			0,6	0,63			0,63	0,53	0,33
			0,8	0,84	167	0,66			
6	3	1,07	0,2	0,21	147	0,58			
			0,6	0,64			0,62	0,54	0,33
			0,8	0,86	169	0,66			
7	3,5	0,85	0,2	0,17	128	0,51			
			0,6	0,51			0,52	0,43	0,22
			0,8	0,68	132	0,52			
8	4	0,50	0,2	0,10					
			0,6	0,30	109	0,44	0,44	0,25	0,11
			0,8	0,40					
9	4,5	0,45	0,2	0,09					
			0,6	0,27	96	0,39	0,39	0,23	0,09
			0,8	0,36					
10	5	0,53	0,2	0,11					
			0,6	0,32	102	0,41	0,41	0,27	0,11
			0,8	0,42					
11	5,5	0,40	0,2	0,08					
			0,6	0,24	95	0,38	0,38	0,20	0,08
			0,8	0,32					
12	6	0,23	0,2	0,05					
			0,6	0,14	42	0,18	0,18	0,06	0,01
			0,8	0,18					

Figura 64: Planilha Rio Toledo - 11/03/2013 - LDM



RELATÓRIO DA COLETA DE DADOS DE VAZÃO
LDM - LEITOR DIGITAL PARA MOLINETES HIDROMÉTRICOS
Prof. Marcos Freitas de Moraes e Profª. Drª. Lilliana Gramani



Responsável: **Francisco/Tullio/ Jorge**

Data: **23/04/2013** Hora: **09:30**

Ponto: **Canal Piracema - Itaipu**

Cota (M): **1,90**

Largura: **7** Prof. Média: **0,30**

Resultados

Vazão total: **2,115 m³/s**

Área Total: **13,29 m²**

Velocidade Média: **0,1591 m/s**

MOLINETE: $V = \frac{b}{a^n}$ tempo(s)

n < 2,098	0,02393	120	0,26458
n > 2,098	0,02393	120	0,26458

Vertical	Distância entre verticais (M)	Profundidade (M)	% Leitura	Pontos de Profund.	r	Veloc. Pontual	Veloc. Média	Área	Q
0	0	1,90						0,00	0,00
1	1	1,87	0,2	0,37	37	0,1055			
			0,6	1,12	69	0,1761			
			0,8	1,50	68	0,1739	0,1579	1,87	0,295
2	2	1,92	0,2	0,38	13	0,0526			
			0,6	1,15	80	0,2003	0,1661	1,92	0,319
			0,8	1,54	85	0,2113			
3	3	1,90	0,2	0,38	41	0,1143			
			0,6	1,14	69	0,1761	0,1656	1,90	0,315
			0,8	1,52	78	0,1959			
4	4	1,90	0,2	0,38	84	0,2091			
			0,6	1,14	84	0,2091	0,2091	1,90	0,397
			0,8	1,52	84	0,2091			
5	5	1,90	0,2	0,38	75	0,1893			
			0,6	1,14	90	0,2224	0,2119	1,90	0,403
			0,8	1,52	86	0,2135			
6	6	1,90	0,2	0,38	68	0,1739			
			0,6	1,14	83	0,2069	0,2031	1,90	0,386
			0,8	1,52	91	0,2246			
7	7	1,90	0,2	0,38		0,0000			
			0,6	1,14		0,0000	0,0000	1,90	0,000
			0,8	1,52		0,0000			
8	8		0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
9			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
10			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
11			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
12			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			
13			0,2	0,00		0,0000			
			0,6	0,00		0,0000	0,0000	0,00	0,000
			0,8	0,00		0,0000			

Figura 65: Planilha Canal da Piracema - Itaipu - 23/04/2013 - LDM

Discharge Measurement Summary										Date Measured: Tuesday, April 23, 2013	
Recorded file is located under My Documents\SonTek Data\YYYY_MM_DD\StationaryDataFiles											
Site Information					Measurement Information						
Site Name canal de iniciação					Party						
Station Number					Boat/Motor trimaran						
Location Itaipu					Meas. Number						
System Information			System Setup				Units				
System Type RS-M9			Tagline Azimuth (deg) 120.3				Distance m				
Serial Number 818			Salinity (ppt) 0.0				Velocity m/s				
Firmware Version 3.00			Rated Discharge (m3/s) 0.00				Area m2				
			Discharge Method Mid-Section				Discharge m3/s				
			Measurement Quality --				Temperature degC				
Discharge Calculation Settings						Discharge Uncertainty					
Track Reference System (default)						Category ISO Stats					
Depth Reference Vertical Beam						Depth 0.21% 0.13%					
Discharge Results						Velocity 0.19% 0.91%					
Total Area 14.33						Width 0.21% 0.18%					
Mean Velocity 0.17						# Cells 0.21% --					
Total Width 7.50						# Stations 5.13% --					
Total Q 2.47						Instrument 0.25% 0.25%					
Mean Flow Angle -10.68						Overall 5.16% 0.97%					
Rated Discharge 0.00											
Water Temperature (Independent) 0.00											
Mean Water Temperature 24.77											
Mean Weighted Gauge Height 0.00											
Measurement Results											
#	Time	Location	Water Surface Type	Temperature	Depth	Flow Angle	Mean Velocity	Area	Station Q	% Measured	
1	2:51:51 PM	0.00	N/A	0.0	1.90	0.0	0.165	0.9	0.157	6.4	
2	2:51:51 PM	1.00	Open Water	24.2	1.91	-14.6	0.165	1.9	0.315	12.7	
3	2:54:29 PM	2.00	Open Water	24.5	1.90	-19.5	0.172	1.9	0.327	13.2	
4	2:57:05 PM	3.00	Open Water	24.8	1.91	-18.1	0.179	1.9	0.341	13.8	
5	2:59:30 PM	4.00	Open Water	24.9	1.91	-17.1	0.169	1.9	0.322	13.0	
6	3:01:50 PM	5.00	Open Water	25.1	1.92	-10.0	0.168	1.9	0.322	13.1	
7	3:04:13 PM	6.00	Open Water	25.2	1.93	-6.1	0.179	2.4	0.431	17.4	
8	3:04:13 PM	7.50	N/A	0.0	1.90	0.0	0.179	1.4	0.255	10.3	
Comments											
Compass Calibration											
Results: PASS											
Score is excellent.											
Magnetic interference is very low.											
Calibration score: M1.00Q9											

Figura 66: Planilha Canal da Piracema - Itaipu - 10/11/2013 - RS-M9

Fonte: Divisão de Estudos Hidrológicos e Energéticos - Itaipu Binacional

Responsável: Adir Otto Schmidt

Vazão: 8,038 M³/s

Data: 21/02/2013

Hora: 14:50

Ponto: Rio Toledo

Código: P05

Cota (M): 1,68

Prof. Média: 1,83

Largura: 5,9

MOLINETE: JC017/06

V=

a

tempo(s)

b

RPS≤0,87: 0,026425 30 0,231578

RPS>0,87: -0,00874 30 0,29081

Vertical	Distância em profundidade	% Leitura	(M)	L1	L2	L3	Média	V pontual	V vertical	V segmento/A segmento/Z segmento
0	0,2								0,00	0,21 0,15 0,033
1	0,5 1,52	0,2	0,30	31	34		32,50	0,306		
		0,6	0,91	49	43		46,00	0,437		0,53 0,80 0,421
		0,8	1,22	58	56		57,00	0,544	0,43	
2	0,5 1,68	0,2	0,34	64	60		62,00	0,592		
		0,6	1,01	49	52		50,50	0,481		0,84 0,88 0,564
		0,8	1,34	82	85		83,50	0,801	0,62	
3	0,5 1,85	0,2	0,37	63	67		65,00	0,621		
		0,6	1,11	53	49		51,00	0,486		0,701 0,96 0,675
		0,8	1,48	89	89		89,00	0,854	0,65	
4	0,5 2,00	0,2	0,40	74	76		75,00	0,718		
		0,6	1,20	73	72		72,50	0,694		0,79 1,03 0,809
		0,8	1,60	87	87		87,00	0,835	0,75	
5	0,5 2,10	0,2	0,42	85	83		84,00	0,806		
		0,6	1,26	86	82		84,00	0,806		0,85 1,06 0,902
		0,8	1,68	92	91		91,50	0,878	0,83	
6	0,5 2,15	0,2	0,43	90	86		88,00	0,844		
		0,6	1,29	95	97		96,00	0,922		0,86 1,06 0,913
		0,8	1,72	86	89		87,50	0,839	0,87	
7	0,5 2,10	0,2	0,42	90	86		88,00	0,844		
		0,6	1,26	101	100		100,50	0,965		0,85 1,04 0,888
		0,8	1,68	76	78		77,00	0,738	0,85	
8	0,5 2,06	0,2	0,41	97	91		94,00	0,902		
		0,6	1,24	99	98		98,50	0,946		0,86 0,98 0,844
		0,8	1,65	77	75		76,00	0,728	0,86	
9	0,5 1,85	0,2	0,37	88	84		86,00	0,825		
		0,6	1,11	99	96		98,50	0,946		0,85 0,90 0,761
		0,8	1,48	87	87		87,00	0,835	0,87	
10	0,5 1,75	0,2	0,35	69	77		73,00	0,699		
		0,6	1,05	91	96		93,50	0,898		0,77 0,89 0,681
		0,8	1,40	95	87		91,00	0,873	0,82	
11	0,5 1,80	0,2	0,36	55	54		54,50	0,520		
		0,6	1,08	76	77		76,50	0,733		0,59 0,86 0,507
		0,8	1,44	91	93		92,00	0,883	0,71	
12	0,2 1,64	0,2	0,33	29	29		29,00	0,272		
		0,6	0,98	45	47		46,00	0,437		0,23 0,16 0,038
		0,8	1,31	73	72		72,50	0,694	0,47	
13		0,2	0,00				0,00	0		
		0,6	0,00				0,00	0		0,00 0,00 0,000
		0,8	0,00				0,00	0	0,00	
14		0,2	0,00				0,00	0		
		0,6	0,00				0,00	0		0,00 0,00 0,000
		0,8	0,00				0,00	0	0,00	

Figura 67: Planilha Prof. Adir Otto Schmidt - 21/02/2013

